

УДК 504.064.4
№ держреєстрації 0124U001811
Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ
НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»
(УКРНДІЕП)
61166, м. Харків, вул. Євгенія Єніна (Бакуліна), 6, тел./ факс. (057) 702 15 92



ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор УКРНДІЕП
д-р геогр. наук, проф.
Анатолій ГРИЦЕНКО
грудня 2024 року

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
за темою № 16/1.1-24
ЗДІЙСНЕННЯ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ТА ВРАЗЛИВОСТІ
БІОРІЗНОМАНІТТЯ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ
(остаточний)

Науковий керівник НДР
заступник директора з наукової роботи, зав.
лабораторії досліджень екологічної стійкості
об'єктів довкілля та природних територій
особливої охорони, канд. біол. наук

О. Г. Васенко

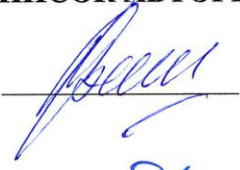

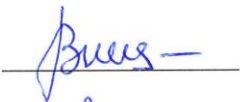

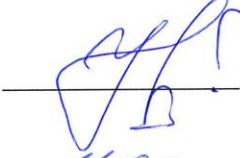






2024

Рукопис закінчено

22.12.2024 р.

Результати роботи розглянуто Вченою радою УКРНДІЕП,
протокол від 16 грудня 2024 р. № 8

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР, заступник директора з наукової роботи, зав. лаб. 1.1, канд. біол. наук		О.Г. Васенко (вступ; розділи 3, 4, 6; висновки)
Відповідальний виконавець: Наук. співроб.		О.В. Черба (розділи 1, 2, 6)
Виконавці: Зав. лабораторії міських і виробничих стічних вод		І.В. Зінченко (розділ 5)
Старш. наук. співроб., канд. техн. наук		А.А. Карлюк (розділ 1)
Наук. співроб.		М.В. Старко (підрозділ 2.4)
Наук. співроб.		О.Ю. Ієвлева (розділ 3)
Наук. співроб.		Г.Ю. Міланіч (розділ 3)
Наук. співроб.		Т.В. Божко (вступ)
Наук. співроб.		К.С. Кононенко (розділ 5)
Наук. співроб.		М.Я. Ігнатенко (розділ 2)
Технік I категорії		В.С. Волобуєва тех. підтримка

РЕФЕРАТ

Звіт про НДР: 214 с., 7 табл., 12 рис., 4 дод., 341 джерело.

БІОРІЗНОМАНІТТЯ, ЗМІНА КЛІМАТУ, ПАРНИКОВІ ГАЗИ, КЛІМАТИЧНІ РИЗИКИ, ЕКОСИСТЕМА, ПАРНИКОВИЙ ЕФЕКТ, ОРГАНІЧНІ БІОРОЗКЛАДАЄМІ ВІДХОДИ

Актуальність роботи зумовлена глобальною зміною клімату та необхідністю протидії зростанню ризиків для біорізноманіття, дотриманням вимог Конвенції про біологічне різноманіття. У теперішній час зростає актуальність здійснення оцінки ризиків для біорізноманіття, пов'язаних зі зміною клімату, розроблення й впровадження заходів стосовно їх пом'якшення та попередження на організаційному, економічному та екологічному рівнях.

Об'єкт дослідження – біорізноманіття, зміна клімату.

Мета роботи – здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату.

Методи дослідження – аналіз наявної інформації стосовно тематики НДР і результатів власних досліджень авторів, методи оцінки кліматичних ризиків та оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на біорізноманіття й виникнення парникового ефекту.

Здійснено аналіз наявної інформації щодо сучасного стану біорізноманіття в Україні та світі, у тому числі іхтіофауни, та впливу зміни клімату на біорізноманіття.

Узагальнено інформацію щодо впливу зміни клімату на біорізноманіття, основних ризиків зміни клімату, здійснення оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату.

Визначено цілі та обсяги оцінки кліматичних ризиків для оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту й відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах.

Розроблено план проведення оцінки впливу органічних біорозкладаємих

відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах.

Розроблено порядок оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату.

Розроблено рекомендацій щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття.

Упровадження: Результати НДР передані для використання та впровадження до Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. Вжиття заходів щодо зниження ризиків зміни клімату для біорізноманіття сприятиме зменшенню вразливості біорізноманіття та його збереженню, покращенню стану екосистем.

ЗМІСТ

Перелік скорочень і термінів	7
Вступ.....	8
1 Сучасний стан біорізноманіття в Україні та світі	13
1.1 Значення біорізноманіття у біосфері та для сталого розвитку суспільства	13
1.2 Основні загрози для біологічного різноманіття	16
1.3 Основні міжнародні угоди з питань охорони, відновлення та збереження біорізноманіття	19
Висновки до розділу 1.....	24
2 Вплив зміни клімату на біорізноманіття	25
2.1 Основні причини та наслідки зміни клімату	25
2.2 Наслідки зміни клімату в Україні	29
2.3 Вплив зміни клімату на біорізноманіття	31
2.4 Вплив зміни клімату на біорізноманіття іхтіофауни	33
2.5 Міжнародні кліматичні переговори як інструмент протидії зміні клімату	39
2.6 Загальні підходи до вирішення проблеми зміни клімату	42
Висновки до розділу 2.....	47
3 Основні підходи до оцінки ризиків зміни клімату для біорізноманіття	49
3.1 Основні ризики зміни клімату для біорізноманіття	51
3.2 Оцінка кліматичних ризиків для адаптації екосистем	55
3.3 Підходи до оцінки ризиків зміни клімату у світі	58
3.4 Мета-аналіз реакції розподілу видів на зміну клімату	74
3.5 Методики, що можна застосовувати при оцінці ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату	81
Висновки до Розділу 3	86
4 Визначення основних складових і порядку оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату	88
4.1. Основні показники оцінки стану біологічного різноманіття	89
4.2. Основні біологічні показники для оцінки стану гідробіоценозів ...	97
4.3 Визначення порядку оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату	100
Висновки до розділу 4	101

5	Оцінка впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах	103
5.1	Показники ризику за кліматичними факторами	105
5.2	Органічні відходи, що біологічно розкладаються та сприяють парниковому ефекту	110
5.3	Методи скорочення викидів парникових газів, що виникають під час накопичення біовідходів	113
5.4	Оцінка впливу органічних біорозкладаємих відходів на біорізноманіття	117
5.5	Зміна клімату та трансформації у ґрунтових екосистемах	129
5.6	План проведення оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах	133
5.6.1	Збільшення стійкості екосистем	137
5.6.2	Заходи щодо попередження негативного впливу від біорозкладних відходів	142
	Висновки до розділу 5	146
6	Рекомендації щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття	149
	Висновки	154
	Перелік джерел посилання	158
	Додатки	200
	Додаток А Технічне завдання	201
	Додаток Б Рецензія на звіт (УКРНДІЕП)	204
	Додаток В Рецензія на звіт (зовнішня)	207
	Додаток Г Витяг із Протоколу Вченої ради УКРНДІЕП, на якому були заслухані результати виконаної НДР	210

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

EbA – Ecosystem-based adaptation – адаптація екологічних систем до зміни клімату

FRA – частка території, що залишилася зі сприятливим кліматом для кожного виду під час зміни клімату

FRS – частка видів, які залишилися на місцях їх існування при розподілі видів під час зміни клімату

GCEF – Експериментальний центр глобальних змін у Німеччині

MSA – індикатор відносної середньої чисельності видів, показник втрати біорізноманіття, визнаний Конвенцією про біологічне різноманіття

NCA – Національна оцінка клімату – ключова оцінка у США для узагальнення поточних і прогнозованих наслідків зміни клімату щодо різних секторів та регіонів країни

WWF – Всесвітній фонд дикої природи

EVI – Індекс екологічних переваг

БРВ – біорозкладні відходи

ВІ – індекс цілісності біорізноманіття

ПГ – парникові гази

СМВС – стійкі моделі виробництва та споживання

ТГЦ – термогалінна циркуляція

ТПВ – тверді побутові відходи

ЦСР – ціль сталого розвитку

ВСТУП

Зміна клімату прямо або опосередковано впливає як на сталий розвиток країн у цілому, так і на біологічне різноманіття. За останні десятиліття у відповідь на зміну клімату спостерігається переміщення географічних ареалів багатьох видів рослин та тварин, зміна їх чисельності й сезонної активності. Тому оцінка ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату, а також способів їх пом'якшення є надважливим завданням екологічної сфери [1, 2].

Україна, займаючи менше 6% площі Європи, володіє 35% її біорізноманіття, а водно-болотні території держави мають надзвичайне екологічне значення. Згідно з Законом України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» [3], «біологічне різноманіття України до 2030 року повинно бути збереженим, оціненим і відповідним чином відновленим».

Біорізноманіття – це різноманіття живих організмів (рослин, тварин і мікроорганізмів), яке є основою стійкості екосистем, оскільки кожен вид виконує власну роль у підтримці рівноваги. Однак зміна клімату може порушити цю рівновагу [4].

Вплив зміни клімату на біорізноманіття та екосистеми є серйозною загрозою для планети. Це вимагає спільних зусиль на міжнародному рівні для зменшення викидів парникових газів і збереження природних екосистем. Тільки шляхом збереження біорізноманіття людство зможе забезпечити стійкий розвиток та зберегти природні ресурси для майбутніх поколінь.

Одна з основних стратегій боротьби з впливом зміни клімату на біорізноманіття та екосистеми – це збереження природних областей і створення заповідних територій, які дозволяють зберегти різноманіття видів, забезпечуючи їм безпечне просторове середовище. Крім того, вони можуть слугувати резервуарами вуглецю, сприяючи зменшенню викидів парникових газів. Зменшення викидів парникових газів – основної складової зміни клімату – може бути досягнуто шляхом переходу до відновлюваних джерел енергії, енергоефективності та зменшення споживання ресурсів [4].

В Україні державна політика у сфері адаптації до зміни клімату базується на Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року, схваленої Кабінетом Міністрів України в грудні 2016 р. Концепція є першим цілісним нормативно-правовим документом України у сфері зміни клімату. Її метою є вдосконалення державної політики у сфері зміни клімату для досягнення сталого розвитку країни, створення правових та інституційних передумов для забезпечення поступового переходу до низьковуглецевого розвитку за умови економічної, енергетичної та екологічної безпеки і підвищення добробуту громадян [4].

На виконання Паризької угоди та Плану заходів щодо виконання Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року розроблено Стратегію низьковуглецевого розвитку України до 2050 року, яку оприлюднено на офіційній веб-сторінці Секретаріату Конвенції. Відповідно до неї Україна докладатиме зусиль для досягнення індикативного показника, що до 2050 року складе порівняно з 1990 роком 31 – 34% викидів парникових газів. Забезпечено підготовку та надання до Секретаріату Рамкової конвенції ООН про зміну клімату щорічних національних кадастрів антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні. Розроблено багаторівневу систему національного пакету законодавства з метою імплементації системи моніторингу, звітності та верифікації викидів (МЗВ) парникових газів в Україні на виконання міжнародних зобов'язань [4].

Фахівці Всесвітнього фонду дикої природи (WWF) визначили п'ять груп основних екологічних чинників, які спричиняють глобальне збіднення біорізноманіття [5]:

- 1) втрата і деградація середовища існування;
- 2) надмірна експлуатація видів;
- 3) антропогенне забруднення;
- 4) чужорідні види;
- 5) зміна клімату.

Більшість дослідників вважає, що вплив зміни клімату на зміни біорізноманіття є недооціненим, адже він значно підсилює дію зазначених чинників, спричиняючи зміну умов і деградацію звичного середовища існування та появу нових чинників, що впливають на життєві цикли видів, порушують усталені умови й знижують здатність до адаптації [5].

Передбачається, що зміна клімату буде одним з основних факторів у зміні біорізноманіття в майбутньому. Було доведено, що в минулому, саме кліматичні зміни були основним фактором процесів видоутворення та вимирання.

Натуралісти наголошують, що з точки зору природи, Україна – унікальна держава. Завдяки своєму розташуванню на межі степової рослинної зони й типових для Центрально-Східної Європи лісів, розташованих у басейні Дніпра та на узбережжі Чорного моря, вона має надзвичайно важливе значення для всієї Європи. Ці незамінні середовища існування є природними поглиначами вуглецю, які допомагають боротися з глобальним потеплінням, а також є домівкою для багатьох рослин і тварин. Україна має багато унікальних екосистем, які істотно впливають на решту природних ландшафтів Європи.

Дуже серйозних втрат біорізноманіття зазнало за час війни. Через повномасштабні бойові дії Україна втратила до 20% своїх посівних площ, більше 5 млн гектарів сільськогосподарських угідь забруднено. Більше 20% території країни заміновано. Вибухи, боеприпаси та руйнування інфраструктури призвели до забруднення ґрунтів токсичними речовинами, які просочуються у підземні води, що впливає на харчові ланцюги біоти. У забрудненому ґрунті накопичуються хімічні речовини, в тому числі важкі метали, що проникають у сільськогосподарські і не тільки культури. Внаслідок обстрілів і руйнувань дамб, водозабірних станцій та очисних споруд, водні ресурси зазнають забруднення хімічними речовинами, важкими металами та паливно-мастильними матеріалами. Через підрив Каховської ГЕС було затоплено 620 квадратних кілометрів землі, знищено понад 11 тис. гектарів лісових угідь. На осушеному дні Каховського водосховища загинули мільйони моллюсків, риба і плазуни. У

Чорному морі, куди потрапила значна кількість прісної води, відбулась різка зміна солоності, що згубно вплинуло на місцеві морські види.

Викиди від роботи військової техніки, продукти горіння лісових пожеж, нафтопродуктів і промислових об'єктів створюють ризики для флори та фауни. Військові дії вплинули на 17 із 55 українських національних природних парків, 10 із 19 природних заповідників, а також 3 із 5 біосферних заповідників.

За інформацією Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, внаслідок війни постраждало більше 20% заповідних територій країни, 900 видів тварин і 750 видів рослин та грибів знаходяться під загрозою знищення [6].

Основними ризиками від бойових дій є пошкодження та знищення лісових масивів, випалення чорноземів, зміна ландшафту, втрата середовища проживання біоти, порушення харчових ланцюгів, знищення окремих видів флори і фауни, в тому числі рідкісних, поширення інвазійних видів.

Загальними підходами до вирішення проблеми антропогенної зміни клімату є пом'якшення її наслідків, тобто запобігання надмірним викидам парникових газів, сприяння їх поглинанню, а також адаптація до зміни клімату. Особливість сучасних антропогенних процесів – у їх значній швидкості, що не є природною для екосистеми і не дозволяє їй встигнути адаптуватися. Це вимагає посилення роботи щодо адаптації, розвитку відповідної власної інфраструктури, що має забезпечуватись постійним фінансуванням, у тому числі через створення екологічного фонду за кошти екологічного податку з їх подальшим використанням виключно на природоохоронні цілі.

Актуальними питаннями, що потребують науково обґрунтованих рішень для їх вирішення, є реалізація національних програм спостережень і вивчення зміни клімату, боротьби з деградацією земель та опустелюванням, підвищення лісистості, відновлення та сталого використання торфовищ, збільшення територій та об'єктів природно-заповідного фонду, використання кращих

вітчизняних практик землекористування та агротехнологій, спрямованих на адаптацію до зміни клімату та пом'якшення її негативних наслідків [4].

Метою даної роботи є здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату.

Виконання НДР розраховано на 3 етапи протягом 2022 – 2024 рр.

На I етапі:

- виконано огляд сучасного стану біорізноманіття в Україні та світі;
- здійснено аналіз наявної інформації стосовно впливу зміни клімату на біорізноманіття;
- обрано показники ризику за кліматичними факторами для оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах.

На II етапі:

- визначено основні ризики зміни клімату для біорізноманіття;
- здійснено аналіз вітчизняного та закордонного досвіду щодо оцінки ризиків зміни клімату для біорізноманіття;
- визначено основні складові та порядок оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату;
- визначено цілі, обсяги оцінки кліматичних ризиків для оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах.

На III етапі у межах даного звіту:

- узагальнено інформацію щодо впливу зміни клімату на біорізноманіття, основних ризиків зміни клімату, здійснення оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату;
- складено план проведення оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах;
- розроблено рекомендації щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття.

1 СУЧАСНИЙ СТАН БІОРИЗНОМАНІТТЯ В УКРАЇНІ ТА СВІТІ

1.1 Значення біорізноманіття у біосфері та для сталого розвитку суспільства

Перехід суспільства до сталого розвитку неможливий без поступового відновлення біорізноманіття.

Термін «біологічне різноманіття» як правова категорія з'явився в результаті прийняття Конвенції «Про біологічне різноманіття» і визначається як здатність існування багатоманітності різних видів живої природи [1, 2].

Біологічне різноманіття поділяють на три категорії:

- генетичне різноманіття – різноманіття серед одного виду;
- різноманіття видів – у межах одного регіону;
- різноманіття екосистем – різноманіття місць існування, біотичних угруповань і екологічних процесів у біосфері [1, 2].

Різноманіття генів, видів та екосистем продовжує зменшуватися, оскільки тиск на біорізноманіття залишається постійним або збільшується, головним чином, внаслідок діяльності людини. Якщо не буде вжито термінових заходів для нейтралізації існуючих тенденцій, наукові кола передбачають подальшу втрату середовищ існування і високі темпи вимирання у XXI столітті, що поєднано з важкими наслідками для суспільства [3, 4]. Тому світове співтовариство глибоко занепокоєне проблемою збереження біологічного різноманіття, оскільки середовище, придатне для життя людини на Землі, створює саме біота.

Втрата біорізноманіття вимірюється показником MSA (середній показник чисельності видів), який був визнаний надійним Конвенцією про біологічне різноманіття. Згідно з [2], до 2000 р. збереглося близько 73 % первинного глобального природного біорізноманіття. Очікується, що до кінця 2050 р. буде втрачено ще 11 % біорізноманіття суші, але ця цифра в середньому включає пустельні, тундрові й полярні райони. Для деяких біомів та окремих регіонів прогнозовані втрати будуть складати близько 20%. За прогнозними оцінками, втрата природних територій за період з 2000 до 2050 рр. у світі складе 750 млн.

гектарів. Очікується, що протягом наступних кількох десятиліть ці природні екосистеми зазнають найбільшого впливу через зміни у землекористуванні. Основні наслідки очікуються в Африці, Індії, Китаї та Європі [5].

За даними звіту ООН про глобальну оцінку біорізноманіття та екосистемних послуг (Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services) на землі налічується вісім мільйонів видів тварин і рослин (у тому числі 5,5 мільйона комах). За оцінками науковців, впродовж наступного десятиліття близько мільйону видів загрожує вимирання, зокрема, близько 40% морської фауни та 10% видам комах. Підраховано, що 500 тисячам наземних видів бракує площі для виживання [6].

Глобальні дослідження у рамках ТЕЕВ [7] свідчать, що ігнорування економіки природних процесів є основним фактором, що сприяє руйнуванню екосистем і втраті біорізноманіття.

Найвищу вартісну цінність мають непорушені людиною природні екосистеми, які надають велику кількість екосистемних послуг. У порушених екосистемах якість і спектр послуг, які вони здатні забезпечувати, суттєво знижуються. Внаслідок надмірного антропогенного навантаження більшість екосистем перебувають у незадовільному стані й потребують відновлення та припинення деградації шляхом обмеження неконтрольованого вторгнення людини у природу й розроблення компенсуючих заходів. Порушення екосистем і, як наслідок, погіршення якості екосистемних послуг у теперішній час вважається однією з найбільших загроз для існування та сталого розвитку суспільства. Відновлення природного стану екосистем є одним з глобальних пріоритетів, які мають забезпечувати впевненість у тому, що екологічні послуги різних екосистем не будуть втрачені [8].

Україна володіє близько 35% популяційного біорізноманіття, займаючи менше ніж 6% площі Європи. Біота нараховує понад 74 тисяч видів, з них понад 27 тисяч (5100 судинних) налічує флора, а фауна – близько 45 тисяч (понад 35 тисяч комах). До останнього видання (2009 р.) Червоної книги України

(рослинний та тваринний світ) внесено відповідно 826 видів рослин і 542 види тварин [9].

В останні десятиліття суттєво збільшились масштаби господарської діяльності та її вплив на всі компоненти довкілля, внаслідок чого загострилась проблема раціонального використання водних, біологічних і рекреаційних ресурсів та їх охорони. У Національних звітах України в рамках впровадження Конвенції про біологічне різноманіття констатується погіршення стану природних середовищ, подальше забруднення водних джерел країни, у зв'язку з чим значна увага приділена розгляду тенденцій змін в основних екосистемах держави та оцінці їх стійкості.

Відзначається, що за масштабами та інтенсивністю використання природних ресурсів Україна випереджає майже всі країни Європи. В результаті антропогенної діяльності відбувається деградація природних угруповань, нездатність їх до самопідтримання та самовідтворення.

Встановлено, що біорізноманіття прісноводних екосистем виснажується швидше, ніж у будь-якому іншому біомі. Проте вважається, що оцінка збитків рибогосподарським водоймам і рибним ресурсам є на даний час найбільш добре розробленою у методичному й законодавчому плані процедурою, яка регламентується затвердженими у кожній країні методичними документами та побудована на застосуванні класичних принципів і методів.

Рішучі дії щодо оцінки й захисту біорізноманіття забезпечать численні вигоди, у тому числі за рахунок поліпшення здоров'я населення, підвищення продовольчої безпеки, подолання бідності, зміцнення стійкості екосистем, сповільнення зміни клімату і покращення адаптації людей до них. Таким чином, кращий захист біорізноманіття є розумною та економічно вигідною інвестицією у зниження ризиків для світової спільноти [10].

1.2 Основні загрози для біологічного різноманіття

Фахівці виділяють п'ять основних загроз біорізноманіттю [11 – 13]:

1) *втрата середовища існування* внаслідок повного знищення або фрагментації місцеперебування, а також погіршення його основних характеристик;

2) *зміна клімату*, яка може спричиняти прямий вплив (переміщення в райони з більш сприятливими умовами) та опосередкований, впливаючи на перебіг життєвих циклів видів;

3) *інвазійні види*, які можуть конкурувати з місцевими за території або акваторії, харчові або інші ресурси і захворюваність;

4) *забруднення*, що впливає на види безпосередньо, перетворюючи середовище існування в несприятливе для життя, або опосередковано, спричиняючи зниження чисельності кормових видів, репродуктивної активності та, зрештою, зниження чисельності виду;

5) *надмірна експлуатація природних ресурсів* (нестійкий промисел, видобуток, браконьєрство, ненавмисне знищення особин непромислових видів тощо).

Втрата середовища існування

Однією з причин втрати середовища існування є знищення лісів.

За даними звіту продовольчої та сільськогосподарської організації Об'єднаних Націй (Food and Agriculture Organization, FAO) «Глобальна оцінка лісових ресурсів 2020 року» [14], з 1990 року площа світових лісів скоротилась на 178 млн. га, що приблизно дорівнює території Лівії. Але цей показник враховує як скорочення лісових масивів у одних країнах, так і збільшення їх в інших. З цього випливає, що зростання лісів далеко не компенсує їхню втрату. Якщо ж йдеться про знеліснення, включаючи вирубування лісів під сільськогосподарські потреби, то втрати за останні 30 років становлять 420 млн. га [14].

В Україні у 2020 році обсяг незаконних рубок становив 54,3 тис. куб, у 2021 році – 25,8 тис. куб. м [15, 16].

Зміна клімату

Окрім втрати середовища існування, відсутність дерев також призводить до надмірних викидів вуглецю, що сприяє парниковому ефекту та прискорює зміну клімату.

Зміна клімату, викликана антропогенною діяльністю, посилює негативний вплив на природні екосистеми та біологічне різноманіття, що, у свою чергу, безпосередньо призводить до швидкого вимирання видів. Усі ці процеси відбуваються занадто швидко, тому багато рослин і тварин не встигають адаптуватись.

Інвазійні види

Ще однією серйозною екологічною загрозою для біорізноманіття є інвазійні види, які витіснюють аборигенні види, порушують екосистеми, призводять до локального або глобального зникнення видів дикої флори та фауни [17].

Глобальна база даних щодо інвазійних видів на даний час нараховує понад 37 970 випадків інвазійних явищ, а близько 890 цих видів здійснюють відчутний негативний вплив на біорізноманіття [18].

За даними Національної доповіді про стан навколишнього природного середовища за 2020 рік, на території України налічується близько 830 видів рослин, які вважаються чужорідними для країни. За різними даними, від 85 до 95 адвентивних видів визнані рослинами з високим інвазійним потенціалом [19]. Чисельність чужорідних видів поступово зростає, фіксуються випадки масових неконтрольованих спалахів пістії, валіснерії, дрейсени, борщівника та амброзії [19 – 21].

Забруднення

В результаті промислової й сільськогосподарської діяльності у середовище існування тварин і рослин потрапляє велика кількість відходів та небезпечних токсичних речовин.

Надмірне використання добрив у сільському господарстві дуже шкідливо для біорізноманіття. Так, азот, що міститься у складі добрив, змінює рН і рівень

поживних речовин у ґрунті. Підвищена присутність поживних речовин у ґрунті викликає інтенсивне зростання видів трав, що призводить до пригнічення польових квітів, необхідних для бджіл та інших комах-запилювачів [22].

Потрапляння азоту й фосфору у водойми призводить до евтрофікації, надмірного зростання рослин. Евтрофікація викликає зниження рівня кисню, що є шкідливим для біорізноманіття: риба та інші водні тварини гинуть через нестачу розчиненого у воді кисню [22].

Забруднення у вигляді пластикового сміття є суттєвою проблемою для мешканців океану. Приблизно 8 мільйонів тонн пластику потрапляє в океан щороку. Науковці наголошують, що пластикове сміття руйнує екосистему океану та є причиною загибелі великої кількості птахів, морських ссавців.

Надмірна експлуатація природних ресурсів

Полювання, вилов риби та браконьєрство є однією з екологічних проблем збереження біорізноманіття. Саме такі дії людини стали причиною зникнення таких видів тварин як дронг, безкрила гагарка, мандрівний голуб, тур, тарпан, морська (стеллерова) корова та ін. На межі зникнення перебувають більшість носорогів в Азії, лев, гепард, тигр, кінь Пржевальського, кулан. Рідкісними стали молюск перлова скойка, метелик аполон, орли, соколи та багато інших тварин. Великої шкоди тваринному світу завдає браконьєрство – любительське колекціонування, відлов тварин для виготовлення сувенірів і торгівлі ними як домашніми вихованцями [23].

На жаль, через такі навантаження на природні екосистеми, чисельність біорізноманіття зменшується та навіть опиняється під загрозою зникнення.

Згідно зі Стратегією [24], найбільш вразливими до зміни клімату є:

- екосистеми та біорізноманіття річкових долин, прибережних захисних смуг з різкою зміною гідрорежиму;
- екосистеми та види, які розташовані на межі ареалу або в екстремальних щодо кліматичних показників умовах, особливо гірські екосистеми Карпат;
- лісові екосистеми, які внаслідок зміни гідрорежиму втрачають стійкість, пошкоджуються через поширення шкідників та хвороб, буреломи тощо;

– природоохоронні території – через неможливість забезпечення збереження видів флори і фауни та типів природних оселищ, для збереження яких створені такі території.

Додатково відзначаються загрози втрати генетичного різноманіття, спричинені як зміною клімату, так і людською діяльністю: зміна клімату може впливати на життєві цикли та періоди розмноження видів в екосистемах, у тому числі шляхом появи нових інвазійних видів, які можуть призвести до зміни екосистеми загалом.

1.3 Основні міжнародні угоди з питань охорони, відновлення та збереження біорізноманіття

На межі III-го тисячоліття людство усвідомило, що стоїть на порозі глобальної екологічної кризи, здатної вже у найближчий час призвести до незворотних наслідків: у процесі становлення цивілізації біосфера зазнала значних змін, і подальше її руйнування загрожує існуванню сучасного суспільства. У відповідь на цей глобальний виклик у 1972 р. була створена Програма ООН щодо навколишнього середовища, у Стокгольмі скликана Всесвітня конференція, присвячена питанням охорони довкілля, яка заклала засади збалансованого підходу до подолання комплексу екологічних проблем у глобальному масштабі. Конференція у шведській столиці надала потужний імпульс розробці національних і міжнародних екологічних програм, а також створенню механізмів їх реалізації. Одним з головних важелів у галузі міжнародного співробітництва стали багатосторонні природоохоронні конвенції, які виявились універсальним правовим механізмом спільного та узгодженого розв'язання питань, котрі внаслідок транскордонного або глобального характеру не можуть бути вирішені однією країною. Міжнародні природоохоронні конвенції, угоди і програми регламентують діяльність держав відносно різних екологічних аспектів [11].

У червні 1992 р. на Конференції щодо навколишнього середовища і розвитку в Ріо-де-Жанейро була підписана Конвенція про біологічне

різноманіття – Convention on Biological Diversity [25], яка стала головним міжнародним юридичним документом щодо збереження біорізноманіття. 192 країни та Європейський Союз є сторонами Конвенції. Україна підписала Конвенцію у 1992 році та ратифікувала Законом України від 29.11.94 р. № 257/94-ВР.

Головною метою Конвенції є збереження біологічного різноманіття, а саме різноманіття всього живого на генетичному, видовому та екосистемному рівнях, стале використання його компонентів, тобто, використання компонентів біорізноманіття таким чином і такими темпами, які не призводять у довгостроковій перспективі до вичерпання біологічного різноманіття. Усі країни планети не повинні більше розглядати довкілля та соціально-економічний розвиток як ізольовані сфери [20, 26, 27].

Конвенція про біорізноманіття розглядається світовим співтовариством як найважливіший правовий засіб вирішення однієї з глобальних екологічних проблем і як критерій оцінки рівня розвиненості та цивілізованості держав. Тому активна участь України у міжнародному співробітництві у цій сфері, чітке виконання вимог Конвенції має особливо важливе значення. Цілі та задачі, визначені Конвенцією про біорізноманіття, активно використовуються та включаються до планів дій у рамках регіонального й міжнародного співробітництва. У визначений термін видаються Національні доповіді про стан навколишнього природного середовища, які містять розділ, присвячений збереженню біо- та ландшафтного різноманіття [8].

Ефективним інструментом європейського рівня для захисту біорізноманіття у природі є Бернська конвенція «Про охорону дикої фауни і флори та природних середовищ мешкання в Європі» (Берн, 19 вересня 1979 р.) [28], до якої Україна приєдналася у 1996 р. (Закон України від 29.10.96 р. № 436/96-ВР).

Важливість включення питань щодо збереження біорізноманіття та його вартісної цінності у національній місцевій політиці та стратегії розвитку, сектори економіки, процеси прийняття урядових рішень відображено у Всеєвропейській

стратегії збереження біологічного та ландшафтного різноманіття (Софія, 1995 р.) [29]. Метою даної стратегії є зменшення загроз для біологічного й ландшафтного різноманіття Європи, відновлення ключових екосистем, середовищ існування, видів і елементів ландшафтів шляхом створення Загальноєвропейської екологічної мережі та ефективного управління нею.

Генеральна Асамблея ООН на 55 сесії у 2000 р. проголосила 22 травня Міжнародним днем біорізноманіття на честь прийняття 22 травня 1992 р. тексту Конвенції про біорізноманіття, що дало додаткову можливість усвідомлення відповідальності за збереження цієї дорогоцінної спадщини для нинішніх та прийдешніх поколінь.

Важливість збереження та невиснажливого використання біорізноманіття й впровадження екосистемного підходу до збереження природи ще раз була підкреслена на Всесвітньому саміті із збалансованого розвитку, який відбувся в Йоганезбурзі у серпні 2002 р.: напрямок був включений до п'яти пріоритетних проблем людства (інші чотири – вода, енергія, здоров'я та агросфера). Наголошувалось, що через декілька років, якщо не вжити заходів і не сконцентруватися на цих проблемах, людство може опинитися у збідненому та забрудненому світі.

На Десятій нараді Конференції Сторін Конвенції про біорізноманіття (м. Нагоя, Японія, 2010) було затверджено Стратегічний план з біорізноманіття на 2011 – 2020 роки [30] і визначено Цільові задачі розвитку тисячоліття – Цільові задачі Аїті, у яких значну увагу приділено збереженню природних екосистем світу.

У травні 2020 р. Європейська Комісія презентувала «Стратегію біорізноманіття ЄС до 2030 року: Повернення природи у наше життя» (COM (2020)) [31]. Країни ЄС прагнуть не лише зберегти на існуючому рівні біорізноманіття та сукупність екосистемних послуг, що надаються природними комплексами, а й стати протягом найближчого десятиліття світовим лідером зі збереження та відновлення природи, подаючи приклад іншим країнам. Передбачається зменшення тиску на біорізноманіття в усьому світі, особлива

увага також буде приділена сталому управлінню водними ресурсами, відновленню деградованих земель, охороні й відновленню природних оселищ з високим рівнем екосистемних послуг та з потенціалом пом'якшення зміни клімату (за рахунок виведення та накопичення вуглецю з атмосфери). Україна має певні зобов'язання щодо біорізноманіття у рамках Угоди про асоціацію з Європейським Союзом, підписаної у 2014 р., тому цей документ можна розглядати і як дороговказ для України, досягнення індикаторів якого сприятимуть подальшим євроінтеграційним процесам [31].

Україна, яка є державою з перехідною економікою, робить усе можливе для створення адекватного потенціалу, достатнього для здійснення пріоритетних заходів у рамках національних стратегій та планів дій щодо збереження біорізноманіття, що відмічається у Національних доповідях. У країні розроблено Концепцію Загальнодержавної програми збереження біорізноманіття на 2005 – 2025 рр. (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 р. № 675) [32], започатковано впровадження екосистемного підходу до визначення цінності біорізноманіття, удосконалюється законодавча база в галузі його охорони, збереження та сталого використання, постійно здійснюються заходи, спрямовані на поліпшення стану різноманіття тварин і рослин [8].

Усвідомлення цінності біорізноманіття поступово відображається у фінансових системах, зростає кількість проєктів міжнародної технічної допомоги, спрямованих на збереження та раціональне використання біологічного різноманіття. Проте, як відмічається у Національних доповідях, включення питань щодо біологічного різноманіття у фінансові потоки йде занадто повільно відносно темпів його втрати [8].

Одним з головних пріоритетів національної природоохоронної політики України є гармонізація природоохоронного законодавства України із законодавством ЄС як складової Загальнодержавної програми адаптації законодавства України до законодавства Європейського Союзу [8].

Окрім Конвенції про біорізноманіття, Україною підписано та ратифіковано низку міжнародних угод у сфері збереження біологічного різноманіття, які мають відношення до захисту середовищ існування живих організмів, зокрема:

– Конвенція про водно-болотні угіддя, що мають міжнародне значення, головним чином як середовище існування водоплавних птахів (Рамсар, 1971 р.);

– Конвенція про міжнародну торгівлю видами дикої фауни й флори, що перебувають під загрозою зникнення, або Вашингтонська конвенція (Вашингтон, 1975 р.);

– Конвенція про охорону мігруючих видів диких тварин (Бонн, 1979 р.);

– Конвенція про оцінку впливу на навколишнє середовище у транскордонному контексті (Еспо (Фінляндія), 1991 р.);

– Конвенція про захист Чорного моря від забруднення (Бухарест, 1992 р.);

– Конвенція про охорону та використання транскордонних водотоків і міжнародних озер (Хельсінкі, 1992).

– Конвенція щодо співробітництва по охороні та сталому використанню річки Дунай (Софія, 1994 р.);

– Рамкова Конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат, або Карпатська конвенція (Київ, 2003 р.).

У порівнянні з міжнародним законодавством, Україна теж зробила значний вклад у свою законодавчу базу щодо питань збереження, охорони та відновлення біорізноманіття. Це стосується насамперед Законів України: «Про охорону навколишнього природного середовища», «Про рослинний світ», «Про тваринний світ», Лісовий, Водний та Земельний кодекси; Законів України «Про Червону книгу України», «Про природно-заповідний фонд України», «Про екологічну мережу України», «Про основні засади (стратегію) державної екологічної політики до 2030 року».

Висновки до розділу 1

1. Внаслідок діяльності людини поступово зменшується різноманіття генів, видів та екосистем.
2. За результатами міжнародних дослідження основним фактором, що сприяє руйнуванню екосистем і втраті біорізноманіття, є ігнорування економікою природних процесів.
3. За масштабами та інтенсивністю використання природних ресурсів Україна випереджає майже всі країни Європи. В результаті антропогенної діяльності відбувається деградація природних угруповань, нездатність їх до самопідтримання та самовідтворення.
4. Серед загроз біорізноманіттю виділяють п'ять основних: втрата середовища існування, зміна клімату, інвазійні види, забруднення, надмірна експлуатація природних ресурсів.
5. Конвенція про біологічне різноманіття (Ріо-де-Жанейро, 1992) є головним міжнародним юридичним документом щодо збереження біорізноманіття. Цілі та задачі, визначені Конвенцією, активно використовуються та включаються до планів дій в рамках регіонального й міжнародного співробітництва.

2 ВПЛИВ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Глобальна зміна клімату є однією з найбільших загроз людству з далекосяжним впливом на суспільство, навколишнє середовище та економіку. Згідно з доповіддю Міжурядової групи експертів зі зміни клімату, зміна клімату в результаті антропогенного впливу з кінця XIX століття лише приблизно на третину пов'язана з природними змінами, а на дві третини обумовлена діяльністю людини, зокрема збільшенням концентрації парникових газів в атмосфері. Адаптація до глобальної зміни клімату є процесом пристосування у природних чи людських системах у відповідь на фактичні або очікувані кліматичні впливи, що дозволить знизити їх негативні наслідки та скористатися сприятливими можливостями [1].

2.1 Основні причини та наслідки зміни клімату

За всю історію існування Землі клімат змінювався багато разів. Вченим відомо про 7 льодовикових періодів, після яких завжди наступало потепління. Потепління у наш час – не лише природний процес, оскільки відбувається у 10 разів швидше, ніж будь-коли. Все частіше науковці вживають термін «кліматична криза» замість «зміна клімату», щоб підкреслити серйозність цієї проблеми та необхідність її вирішення вже зараз.

Кліматична криза – це надмірно стрімка зміна клімату через підвищення глобальної середньої температури. Щоб протидіяти кліматичній кризі, слід досягти вуглецевої нейтральності вже до 2050 року та адаптуватися до зміни клімату [2].

Дослідники виділяють дві основні причини зміни клімату:

1. Підсилення парникового ефекту – процесу затримання парниковими газами сонячної енергії на поверхні Землі та в атмосфері й перешкоджання її поверненню назад у космос. Парниковий ефект підтримує на Землі комфортну

для життя температуру. Якби не було цього ефекту, то середня глобальна температура була б не $+15^{\circ}\text{C}$, а -18°C .

Парниковий ефект – це нормальне природне явище, але після промислової революції, з середини 19 ст. концентрація парникових газів в атмосфері почала різко зростати через спалювання викопного палива.

До парникових газів відносяться: двоокис вуглецю CO_2 , метан CH_4 , оксид азоту (I) N_2O , озон O_3 , водяна пара. Перші чотири сполуки місяцями та навіть роками перебувають в атмосфері, не зазнаючи фізичних чи хімічних змін. Наприклад, молекула метану може перебувати в атмосфері без змін до 14 років, а молекула озону – приблизно 100 діб. Це сприяє підвищенню глобальної температури протягом десятиліть. Водяна пара перебуває в атмосфері лише декілька днів і швидко реагує на температурні зміни. З підвищенням температури більше води випаровується і потрапляє в атмосферу, таким чином водяна пара посилює процес глобального потепління.

2. Збільшення викидів парникових газів. Людство суттєво змінює концентрацію парникових газів в атмосфері, спалюючи викопне паливо: вугілля, нафту, газ тощо. Під час їх горіння вивільняється вуглець, який з'єднується з киснем у повітрі та утворює CO_2 . За останні 150 років концентрація CO_2 зросла з 280 ppm (часток на мільйон) до більш ніж 400 ppm. Таке стрімке зростання вмісту CO_2 в атмосфері сталося на планеті вперше за сотні тисяч років.

Науковці підтверджують: інші причини, хоч і мають місце, але вони не настільки впливові, як діяльність людини [1].

Зміна клімату призводить до різноманітних наслідків, найбільш поширені з яких систематизовано у [2] і розглянуто нижче.

1. Глобальне потепління. Відповідно до звітів Всесвітньої метеорологічної організації, з 1850 – 1900-х років середня температура на планеті вже піднялась на $1,2^{\circ}\text{C}$. Глобальне потепління відбувається нерівномірно по планеті: середня температура в арктичних регіонах вже зросла на 2°C . Залежно від обсягу глобальних викидів парникових газів протягом наступних

років подальше зростання середньої глобальної температури прогнозується в межах 1,5 – 4,3°C від доіндустріальних рівнів до кінця XXI століття [1, 2].

2. Танення льодовиків. Потепління в Арктиці відбувається вдвічі швидше у порівнянні з іншими регіонами планети, тому льодовики тануть швидше. З 1979 року (перший повний рік супутникового спостереження) об'єм льоду у найтепліший сезон в Арктиці зменшився на 40%. Якщо збережеться така тенденція – до середини століття в літній період Арктика буде без льоду.

Танення льодовиків має декілька серйозних наслідків:

- скорочення площі білого покриву;
- танення вічної мерзлоти;
- підвищення рівня Світового океану.

3. Зменшення біорізноманіття. Здорові екосистеми потребують різноманіття видів флори та фауни – від ґрунтових мікробів до хижаків. Якщо один або кілька видів зникають з цього середовища, це може завдати шкоди екосистемі. Через зміну клімату та людську діяльність за останні півстоліття чисельність популяцій хребетних тварин на Землі зменшилась на 68%. Це загрожує людству втратами рослинної й тваринної їжі, води, палива, ліків.

4. Хвилі тепла – періоди аномально спекотної погоди, що проявляються на певній території час від часу та спостерігаються в різних країнах світу. Це явище з кожним роком стає все більш розповсюдженим і більш частішим.

5. Посухи та пилові бурі. Через посухи, спричинені зміною клімату, спостерігаються більш масштабні й тривалі у часі пожежі. Зокрема, під час пожежі в Австралії взимку 2019 – 2020 р. постраждало близько одного мільйону тварин. Посушлива погода загрожує не лише лісовими пожежами, а й пиловими бурями: коли сильний вітер розносить пил з розораних відкритих ділянок, він підіймає вгору суху землю та переносить її на десятки кілометрів. В результаті знижується родючість земель, а місцеві жителі страждають від респіраторних захворювань і поганої видимості на дорогах через пил та пісок.

6. Зміни в опадах. Підвищення температури збільшує випаровування та спричиняє перерозподіл вологи. Як наслідок, в одних регіонах випаровується

надмірна кількість вологи та посилюється посуха, в інших ця волога конденсується, що призводить до більш частих злив і штормів, які викликають ризики затоплення.

7. Частіші й більш інтенсивні шторми. У залежності від походження штормів розрізняють урагани, тайфуни та циклони. Шторми формуються у теплих водах екватора – зазвичай у тропіках, де температура поверхні океану вище 26°C: тепла вода перетворюється на пару та разом із теплим повітрям підіймається вгору, в атмосфері пара починає охолоджуватись й утворює штормові хмари, які під дією вітру починають активно обертатися, підживлюючись теплом та водою з поверхні океану. Досягнувши швидкості вітру 119 км/год., шторм перетворюється на «ураган», який починає втрачати свою силу та вологу, коли потрапляє на суходіл, та випадає у вигляді зливи, спричиняючи повінь. Тому з підвищенням температури Світового Океану прискорюється випаровування води, частіше утворюються урагани та зростає їх потужність.

8. Океанічні течії та їх зміни. В океані відбувається сталий рух води у вигляді термогалінної циркуляції (ТГЦ) за рахунок зміни температури води (теплі й холодні океанічні течії) та зміни її солоності. Найбільший внесок у ТГЦ мають термічні процеси. Солоність збільшується у поверхневому шарі води океану за рахунок випаровування, а зменшується в окремих частинах океану внаслідок опадів і виносу прісної води річками. Також зменшує солоність танення льодовиків Гренландського або Антарктичного льоду. Холодна, солоніша вода щільна і занурюється на дно океану, тоді як тепла – менш щільна – залишається на поверхні.

9. Кліматичні біженці – люди, змушені покинути свій дім через несприятливі раптові або довготривалі зміни клімату. Посилення посухи, опустелювання, підвищення рівня моря та порушення сезонних погодних ситуацій – ці зміни найчастіше підштовхують людей і тварин до зміни місця проживання у межах своєї країни або міграції до іншої. За даними ООН, з 2008 р. у середньому 21,5 млн. людей були вимушено переселені через погодні

умови – повені, шторми, лісові пожежі й екстремальні температури. Очікується, що ці цифри можуть зрости у найближчі десятиліття. За прогнозами міжнародного аналітичного центру ІЕР, до 2050 року 1,2 млрд. людей можуть бути переміщені в усьому світі через зміни клімату та стихійні лиха [2].

2.2 Наслідки зміни клімату в Україні

Результати спостережень і наукових досліджень свідчать про певні наслідки зміни клімату в Україні.

1. Потепління. Період від кінця ХХ століття до сьогодні є найтеплішим за всю історію погодних спостережень в Україні, починаючи з 1890-х років. Швидкість зміни середньої, а також максимальної та мінімальної температур за період 1961 – 2013 рр. складала $0,3^{\circ}\text{C}$ кожні десять років. Усі сезони стали теплішими. За останні 30 років середня річна температура зросла на $1,2^{\circ}\text{C}$. Згідно з даними Міндовкілля, середня літня температура зросла на $1,3^{\circ}\text{C}$, середня зимова – на $0,9^{\circ}\text{C}$, середня весняна – на $0,9^{\circ}\text{C}$, а середня осіння – на $0,4^{\circ}\text{C}$. Найбільше підвищення середньої температури відбулося у січні (на $2,3^{\circ}\text{C}$) та липні (на $1,4^{\circ}\text{C}$). Як наслідок, у країні посилились посухи, змінилась водність річок та озер, з'явилися не характерні для країни екстремальні погодні явища (наприклад, у 2020 – 2023 рр. вперше відмічались дуже потужні смерчі на сході України).

2. Посухи. Дані спостережень та наукових досліджень показують, що в країні почали переважати посушливі умови, а їх інтенсивність збільшилась. В останні роки відмічались масштабні пилові бурі та посухи на Одещині й Поліссі. Дослідження показує, що при очікуваному підвищенні температури повітря, навіть на $1,5^{\circ}\text{C}$, протягом 2020 – 2050 років кожен другий сезон може бути посушливим.

3. Зниження водності річок та перерозподіл опадів. Протягом останніх років рівень води у річках України у літній період є нижчим за норму. Разом із більш частими періодами посух та зменшенням опадів у літній період, ситуація може ще погіршитись.

Протягом останніх десятиліть (у порівнянні з базовим періодом 1961 – 1990 рр.) відбувся перерозподіл кількості опадів по регіонах України та по сезонах. Загалом за рік у середньому кількість опадів змінилася не дуже помітно, але відбуваються зміни в інтенсивності та характері їх випадіння. Наприклад, коли за декілька годин випадає половина або місячна норма опадів, а в інший період – дощів немає зовсім, що призводить до посух.

Зростання температури та зміна режиму зволоження призведуть до подальшої зміни водного стоку річок і, відповідно, водозабезпечення окремих регіонів. Згідно з дослідженнями провідних науковців, протягом ХХІ століття для переважної кількості адміністративних областей України буде спостерігатись зменшення поверхневого водного стоку, що пов'язано з потеплінням (підвищення приземних температур повітря, збільшення випаровуваності) та зменшенням кількості атмосферних опадів.

Прогнозується, що найбільші величини зниження стоку будуть спостерігатись для річкових басейнів Прип'яті, Південного Бугу та Дністра. До кінця сторіччя водність може знизитись на 30%. Водний стік малих річок теж поступово зменшується, а з середини століття може зовсім припинитись.

Водночас кліматично обумовлене збільшення водного стоку на річках Полісся у лютому загрожує формуванням стійких весняних паводків, а підвищення водного стоку річок Західного регіону проявиться у формуванні катастрофічних повеней на гірських річках. Кліматичні зміни збільшують частоту повеней та посух, що робить вразливим сільське господарство, енергетику, транспорт та соціальну сферу, адже вони залежать від водних ресурсів. В останні роки відмічались найбільші повені у Закарпатті та Івано-Франківській області, надмірна вологість у певних регіонах Волині й Полісся, втрата родючих земель у Херсонській області. Такі тенденції можуть призвести до зменшення врожайності та проблем у роботі атомних електростанцій, які потребують постійного охолодження. Зменшення водності річок буде створювати високий ризик перегрівання реакторів на АЕС.

4. Підняття рівня Чорного та Азовського морів. Результати проведених наукових досліджень вказують на можливі ризики підвищення рівня моря для прибережних територій південних областей України внаслідок зміни клімату. У 2100 році, за проведеними розрахунками, слід очікувати на затоплення території площею майже 650 тис. га, а з урахуванням нагонів моря – до 1 млн. га (це майже дорівнює площі Тернопільської області). Найбільшого впливу зазнають Крим, Херсонська та Одеська області. Підняття рівня Чорного моря означає загрозу затоплення важливих об'єктів інфраструктури, промисловості, житлових кварталів, об'єктів культурної спадщини, а також великі зміни чи навіть загибель деяких екосистем прибережних регіонів.

2.3 Вплив зміни клімату на біорізноманіття

Значна частина природних екосистем може виявитись особливо чутливою до зміни клімату, оскільки вони мають обмежену здатність до адаптації, а деяким з цих систем може бути нанесений істотний та незворотний збиток. Значною мірою це стосується і багатьох видів живих організмів, які мешкають в природному середовищі у звичних умовах існування. Окремі види в нових умовах можуть збільшити чисельність або сфери перебування, але зміна клімату підвищить існуючі ризики знищення деяких більш уразливих видів і значно посилить загрозу втрати біорізноманіття.

Більшість дослідників вважає, що вплив зміни клімату на зміни біорізноманіття є недооціненим, адже він значно підсилює дію зазначених чинників, спричиняючи зміну умов і деградацію звичного середовища існування та появу нових чинників, що впливають на життєві цикли видів, порушують усталені умови та знижують здатність до адаптації. Наприклад, 27-річні експериментальні дослідження ентомофауни природоохоронних територій Німеччини засвідчили, що загальна біомаса комах скоротилась більш ніж на 75% [1, 2].

Найбільш поширеними прикладами впливу зміни клімату на біорізноманіття вважаються:

- **фенологічні зміни** – при підвищенні середньої температури на 2°C рослини починають квітнути на 5 – 30 днів раніше, коли існує загроза приморозків та ще відсутні комахи-запилувачі;

- **зміни у розселенні видів** – зміна ареалу внаслідок зміни умов обумовлює швидку появу та розселення інвазійних видів, серед яких багато небезпечних бур'янів, алергенів, отруйних тощо. Інвазійні види зазвичай більш життєстійкі й поступово повністю замінюють місцеві. Для території України яскравими прикладами є амброзія та борщівник, які сьогодні зустрічаються по всій території країни й становлять суттєву загрозу для здоров'я населення [1].

Визначають три види реакцій біоти на зміну клімату: *міграція, адаптація та зникнення* [1].

Міграція у звичайних умовах є екологічно врівноваженим процесом, проте через збільшення темпів змін у навколишньому середовищі та наявність антропогенних перешкод рівновага порушується. Інвазійні види витискують аборигенів і займають їхні екологічні ніші, у результаті чого розриваються коеволюційні зв'язки.

Адаптація – еволюційний тривалий процес, проте клімат на сьогодні змінюється швидше порівняно з еволюційними можливостями. Це обумовлює вразливість видів з тривалим циклом розвитку (багаторічників) та заміну їх зокрема однорічними бур'янами. У глобальному масштабі це призводить до скорочення запасів енергії у біомасі екосистем і в кінцевому випадку – до порушення енергетичної піраміди. Для умов України з її високою розораністю територій ризик заселення непродуктивних однорічників є дуже високим.

Зникнення видів є особливо негативним процесом. Прогнозують, що протягом століття з окремих територій можуть зникнути 17 –35% видів, а в Європі, зокрема до 2080 р., імовірно скорочення ареалу близько 50% видів рослин.

Для України існує ризик негативного впливу зміни клімату на рівні екосистем, зокрема на болотні екосистеми, які депонують вуглець і відіграють особливу роль у кругообігу й балансі CO₂. Відбуватиметься заростання боліт

лісом і зникнення болотних видів. Для зони Полісся існує ризик опустелювання та збіднення екосистем внаслідок посушливості, що стимулюватиме поширення посухостійких видів. Посушливість сприятиме збільшенню кількості й частоти пожеж у хвойних лісах від Полісся до гірського Криму. Для степової зони, що значно порушена антропогенною діяльністю, відбудеться не передбачене теоретично заміщення лучними й лісовими угрупованнями (ці процеси спостерігаються лише у степових заповідниках) та виникнення малопродуктивних угруповань, утворених інвазійними видами. Підйом рівнів ґрунтових вод підсилить заболочення та засолення, скоротить площі піщаних дюн, які є осередком багатьох ендемічних видів [1].

Загалом, для умов України вплив факторів зміни клімату може спричинити збіднення чисельності 8% видів рослин та 10% тварин [1].

2.4 Вплив зміни клімату на біорізноманіття іхтіофауни

Зміни абіотичних факторів водних екосистем, які відбуваються у процесі зміни клімату, суттєво впливають на стан і розвиток іхтіофауни.

Основною рисою впливу зміни клімату на структуру й функціонування водних екосистем є «потепління водойм», а також зміни параметрів і обсягів материкового стоку. Зміни термального режиму водойм безпосередньо впливають на темп зростання, схильність до захворювань та терміни нересту гідробіонтів. Під час швидкого зростання температур води навесні відбувається аномальне прискорення процесів метаболізму і розвитку в умовах недостатнього забезпечення личинок адекватними кормами. У разі переходу на активне живлення, це супроводжується швидким розсмоктуванням жовткового міхура в умовах відсутності достатньої концентрації кормових організмів, що може викликати їх підвищену смертність на ранніх етапах онтогенезу, багаторазово знизити ефективність відтворення у природних екосистемах [3].

Найбільш відчутний вплив зміна кліматичних умов здійснює на вищі рівні трофічного ланцюга гідробіонтів (в першу чергу на рибу). На рибне господарство впливає низка факторів, пов'язаних із зміною клімату, зокрема, підвищення

температури води у водних об'єктах, зміна обсягів опадів і водного стоку, висихання невеликих водних об'єктів, поширення паразитів та, як наслідок, зміна видового складу риби й інших гідробіонтів. Підвищення температури спричиняє загрозу зникнення холодолюбних видів. Слід очікувати не тільки на зменшення популяцій водних біоресурсів у водних об'єктах, а також на появу нетипових теплолюбних видів [2].

Зменшення річкового стоку та надмірне його зарегулювання вже сьогодні призводить до погіршення умов нересту туводної іхтіофауни практично в усіх лиманно-гірлових комплексах півдня України. Втрата природних нерестовищ (заливних заплавних лугов і плавневих озер дельти) в умовах скорочення або повної відсутності водопіль та паводків багаторазово знижує ефективність природного відтворення, що призводить до масової втрати статевих плідників, загибелі личинок і молоді на нерестовищах [3].

Зменшення річкового стоку сприяє також зростанню солоності приморських водойм і наростанню евтрофікації, що супроводжується погіршенням умов нагулу гідробіонтів. Зміна сольового та температурного режимів лиманних екосистем впливає на метаболічні реакції риб, призводить до глибоких фізіологічних змін, пов'язаних з умовами статевого дозрівання, відтворення й харчування. Сьогодні відбувається корінна перебудова якісного складу й структури іхтіценозів солонуватоводних лиманів і лагун півдня України, втрата їх продукційного потенціалу, пов'язана із підвищенням солоності та зміною термального режиму вод [3].

Температура, у свою чергу, також впливає на характеристики, пов'язані з репродукцією риб [5]. Внаслідок зміни клімату можуть зміщуватись терміни нересту певних гідробіонтів [6].

Таким чином, зміна клімату спричиняє опосередкований вплив на гідрохімічний режим акваторій, стан природної кормової бази, структуру іхтіценозів, умови відтворення й поповнення природних популяцій гідробіонтів. Наслідки такого впливу відображаються на загальній продуктивності водних

екосистем, промислі водних біоресурсів, поповненні природних популяцій риб і безхребетних [3].

Результати досліджень показують, що відхилення у режимі водних об'єктів та температурні аномалії, викликані глобальною зміною клімату, змінюють ареали гідробіонтів, щільність їх популяцій та взаємовідносини з іншими представниками екосистеми [7, 8].

Внаслідок зміни клімату вже сьогодні відбуваються зміни структури уловів риби в Україні, зокрема, збільшується частка сріблястого карася та малоцінних риб. Водночас, через погіршення умов відтворення, зменшується частка хижих риб. В іхтіофауні зростають частки чужорідних малоцінних видів (наприклад, сонячного окуня, чебачка амурського) та зникають окремі реофільні й холодолюбні види (минь, марена звичайна). Посилються заморни явища, спостерігається збільшення інтенсивності інвазій та кількості інвазійних хвороб (нематоди з Мексики, лернеоз та іхтіофтіріоз) та бактеріальних захворювань (вібріофлора, аеромонади, псевдомонади, ентеробактерії) [9, 10].

Вплив зміни клімату на різноманіття іхтіофауни

Одним з найбільш очевидних та очікуваних впливів зміни клімату є зміна ареалів поширення організмів, що може мати значні екологічні та економічні наслідки.

Найголовнішим проявом зміни клімату є підвищення температури. Риби – пойкилотермні організми, тому температура є ключовим чинником, що впливає на їх життєдіяльність, інтенсивність обміну речовин, нормальний ріст та розвиток, репродуктивні властивості [10, 11]. У той же час відзначається, що через глобальне потепління основною проблемою є зміна видового складу гідробіонтів та збільшення захворюваності риб [12].

Так, у басейні Дніпра з роками скорочується кількість туводної (аборигенної) фауни риб – лящів, судаків, линів і сомів. Наразі вже не зустрічається йорж, а тарані стало наполовину менше. Вчені-іхтіологи прогнозують: якщо ситуація не зміниться, то через 10-15 років взагалі зникнуть окуні, сазани, міні й інші види риб [13].

Вплив зміни клімату на стан популяцій аборигенних видів риб

Клімат є основним фактором, що визначає поширення та чисельність іхтіофауни. При цьому прісноводні екосистеми вважаються особливо вразливими до наслідків зміни клімату [14, 15].

Поступове зниження водності річки та кліматичні зміни призводять до зниження у 1,5 рази видового складу іхтіофауни, насамперед аборигенної (нативної). Так, відносно низький рівень та збільшення каламутності води й зниження швидкості течії, що спостерігається останнім часом, призвели до змін у складі екологічних груп іхтіофауни Дністра. За піввіковий період зросло значення лімнофілів, рео-лімнофілів, але зменшилась кількість реофільних видів [16, 17].

Згідно результатів досліджень, проведених у басейні Дністра [18 – 20], з 90 зареєстрованих раніше видів іхтіофауни наразі відзначено лише 45 [17 – 20]. Зі складу випали 9 видів та підвидів риб: майже всі реофільні види (ялець, рибець, вирезуб). На межі зникнення опинилися головень та лин. Вкрай рідко зустрічаються літофільні види (осетрові, піскарі).

Крім того, на тлі зниження видової різноманітності іхтіофауни у басейні Нижнього Дністра встановлено значне зниження величини уловів основних промислових видів риб: вдвічі – втричі порівняно з 90-ми роками минулого століття [20, 22] (рис. 2.1). При цьому істотно змінився якісний склад уловів: риба, яка виловлюється в даний час, у 2 – 3 рази менша за розмірами та біомасою.

З потеплінням клімату науковці передбачають подальше скорочення чисельності холодноводних і збільшення тепловодних видів риб.

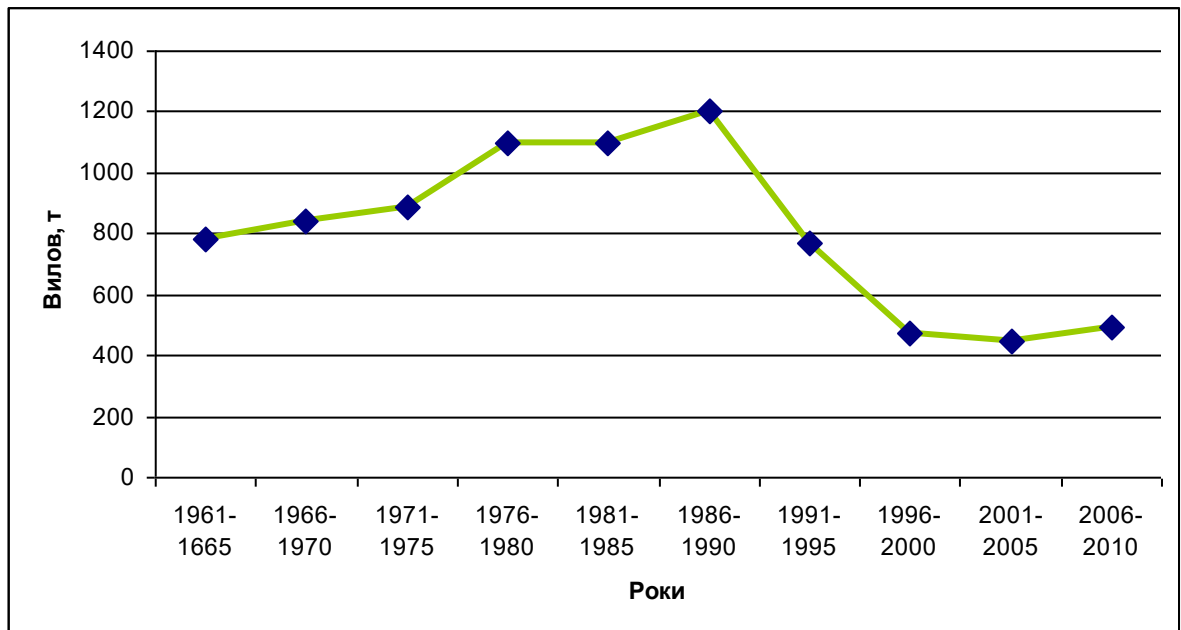


Рис. 2.1 Середньорічний вилов основних промислових риб у басейні Нижнього Дністра, 1961 – 2010 рр. [16, 20, 22]

Вплив зміни клімату на інвазійні види

З глобальною зміною клімату також пов'язана проблема інвазійних видів гідробіонтів. Потепління води, зміна солоності естуарних водних систем, як результат зниження об'ємів річкового стоку, суттєво змінюють умови існування гідробіонтів, розширюють границі їх поширення, відтворення, зимівлі. Як результат таких глобальних змін, в останні роки спостерігається інтродукція тропічних і субтропічних видів гідробіонтів у морські акваторії помірної кліматичної зони, натомість поширення й чисельність бореальних видів тут помітно зменшуються. Підйом клину морських вод у дельтовій частині річок забезпечує поширення в річкових системах солонуватоводних і евригалінних видів. Часто інвазія чужорідних видів призводить до натуралізації вселенців у нових умовах і витискування цими швидкозростаючими популяціями аборигенної флори та фауни [23].

Матеріали сучасних досліджень Інституту гідробіології та літературні джерела свідчать, що за 47 років іхтіофауна р. Прип'ять поповнилася на 19 видів, тобто збільшилась у півтора рази лише за рахунок інвазійних [24]. Водночас,

згідно з даними авторів, незважаючи на зміну клімату, склад аборигенних видів риби у період з 1965 по 2012 роки не змінився.

На тлі кліматичних змін серед чинників, що визначають темпи розселення інвазійних видів, основними вважають водний транспорт, великі канали, штучні зміни фізичного чи хімічного режиму водойм, випадкове занесення у нові водойми, цілеспрямована акліматизація корисних видів [25].

Найбільш успішно розповсюджуються види з широким екологічним діапазоном, зокрема, представники солонуватих вод і літоральної зони.

При цьому загальновідомо, що стійкість чужорідних видів до змін характеристик довкілля вища порівняно з аборигенними. Тому інвазійні види з широким спектром пристосувальних реакцій мають перевагу перед туводними, місцевими рибами (наприклад, карась сріблястий перед карасем звичайним (золотим)).

Таке становище може призвести до вимирання аборигенних видів і поширення інвазійних. Про це свідчать результати досліджень багатьох вчених, які показують, що поряд зі зменшенням ареалів уразливих видів, або таких, що перебувають під загрозою зникнення, відбувається широке поширення видів-інтервентів, об'єктів інтродукції рибиництва або випадкових вселенців. Ці процеси можуть суттєво змінити склад фауни риби цілих регіонів.

Вплив зміни клімату на нерестові умови

Коливання режимів температури і фотоперіоду сильно впливають на терміни та фенологію періоду нересту деяких видів риби. Температура, головним чином, діє на рівні статевих залоз, втручаючись у стероїдогенез (зокрема, на активність гонадної ароматази) і гаметогенез. Крім того, температура безпосередньо впливає на якість вивільнених гамет і розвитку ембріонів. Також можливий вплив зміни клімату на репродуктивну поведінку риби [26].

Підвищення температури внаслідок зміни клімату стимулює зміни термінів нересту риби. У весняний період, що характеризується найбільш суттєвими змінами, на тлі глобального потепління клімату відбувається нерест переважної більшості видів риби помірної зони [27].

Крім того, встановлено факти перекривання термінів нересту різних видів риби, що може призвести до погіршення відтворення риби у зв'язку з нестачею нерестовищ.

Підвищення температури води на нерестовищах та її істотні коливання протягом доби призводять до зменшення концентрації розчиненого кисню. Це негативно впливає на ембріональний розвиток і репродуктивний потенціал корошових та окуневих видів риби [28 – 30].

Вплив міни клімату на розвиток і поширення хвороб риби

Встановлено, що температура води зумовлює швидке поширення бактеріальних захворювань риби, а відсутність різких коливань вдень і вночі – сприятливий додатковий фактор. Так, дані паразитологічного дослідження основних промислових хижих риби Дніпровських водосховищ свідчать про виявлення у судака та окуня личинок діоктофомових нематод, що були віднесені до *Eustrongylides*. Екстенсивність інвазії окуня становила 90% за інтенсивності інвазії 10 екз./рибу, екстенсивність інвазії судака становила 50% за інтенсивності інвазії 7 екз./рибу. Дане захворювання раніше не реєструвалося в іхтіофауні водосховищ дніпровського каскаду, а зараз набирає характеру епізоотії.

Спираючись на результати аналітичних досліджень стосовно зміни клімату в Україні, прогнозуються спалахи інфекційних та інвазійних захворювань риби впродовж найближчих років [31].

2.5 Міжнародні кліматичні переговори як інструмент протидії зміні клімату

У 1992 р. під час міжнародного Саміту Землі у Ріо-де-Жанейро 154 країни визнали існування зміни клімату в результаті діяльності людини та прийняли рішення проводити спільну роботу для обмеження глобального потепління. У цьому ж році була прийнята Рамкова конвенція ООН зі зміни клімату (РКЗК ООН) [4], а з 1995 р. сторони Конвенції почали щорічно збиратись для прийняття спільних рішень на Конференції сторін (Conference of Parties (COP)). На

Конференції сторін збираються представники кожної країни-підписанта РКЗК ООН: 196 країн світу та Європейський Союз, який бере участь як окремий член Конвенції. Також у Конференції беруть участь представники неурядових організацій, місцевих органів влади, наукової спільноти, молоді, бізнесу, профспілок та інших зацікавлених сторін.

Щоб запобігти катастрофічним кліматичним змінам, на Міжнародних кліматичних переговорах ООН у 2015 р. була підписана Паризька угода [32]. Вже через рік вона вступила в дію – відразу після того, як її схвалили 55 країн, відповідальних за понад 55 % світових викидів парникових газів. Станом на середину 2022 року, 193 країни (з 197 країн-учасниць Рамкової конвенції ООН зі зміни клімату) ратифікували Паризьку угоду. Україна увійшла у двадцятку перших країн, які на державному рівні затвердили Угоду.

Головною метою Паризької угоди є утримання глобального потепління на Землі у рамках 2°C та докладання максимальних зусиль щодо зупинення потепління на 1,5°C. Це означає, що людство повинне обмежити викиди парникових газів, що утворюються від спалювання викопного палива і спричиняють глобальне потепління.

Участь кожної окремої країни у досягненні світової мети визначається нею індивідуально, є добровільною та має назву «Національно визначений внесок» (*NDC*). Угода вимагає, щоб такі внески були встановленими «... з метою досягнення цілі Угоди» та коригувались кожні п'ять років.

Виконання цілей Паризької угоди вимагає від усіх країн одночасного вжиття заходів щодо скорочення викидів парникових газів та адаптації до вже наявних наслідків глобальної зміни клімату [2, 33].

У 2021 р. на міжнародних кліматичних переговорах у Глазго (Шотландія) країни домовилися переглянути свої кліматичні цілі до кінця 2022 року та покращити їх «... відповідно до мети Паризької угоди, зважаючи на національні обставини». [2]

У червні 2021 р. Європарламент ухвалив Європейський кліматичний закон [34], який затверджує цілі ЄС щодо скорочення викидів до 2030 і 2050 рр. і

передбачає досягнення вуглецевої нейтральності на території ЄС до 2050 р. Зокрема, затверджена кліматична мета ЄС щодо скорочення викидів парникових газів на 55% до 2030 року. Відмічено, що у період з 1990 до 2020 рр. ЄС скоротив викиди парникових газів на 25%, а тепер необхідно скоротити їх на 30% лише за дев'ять років, що передбачає більш ніж потроєння зусиль. Єврокомісія з 30 вересня 2023 р. кожні п'ять років буде оцінювати колективний прогрес, досягнутий усіма країнами ЄС, а також погоджувати заходи на шляху до досягнення вуглецевої нейтральності.

Починаючи з 1995 року проводиться щорічна конференція Організації Об'єднаних Націй з питань зміни клімату, відома як «Конференція Сторін» або «COP», яка збирає світових лідерів, делегатів країн, громадськість та медіа для досягнення консенсусу щодо вирішення проблеми зміни клімату.

Починаючи з COP21 у 2015 році, основна її увага зосереджена на виконанні Паризької угоди, яка включає три основні цілі: обмежити зростання середньої глобальної температури до рівня «значно нижче» 2°C і прагнути обмежити зростання на рівні 1,5°C вище доіндустріального; адаптуватися до зміни клімату, підвищуючи стійкість; привести фінансові потоки у відповідність до «траєкторії низьких викидів парникових газів і стійкого до зміни клімату розвитку».

Україна є активною стороною міжнародної конференції і починаючи з COP27 представляє власний павільйон з окремою програмою.

Основними темами українського павільйону на COP27 були:

як повномасштабна війна росії проти України вплинула на глобальну енергетичну безпеку;

вплив війни на довкілля;

поняття «екоциду» та визнання завданих росією збитків екоцидом;

методики обрахунку збитків, завданих довкіллю;

зелене відновлення українських громад;

відновлювана енергія та сталі практики, що вже існують в Україні.

У 2023 році на COP28 можна виділити наступні тематичні кластери

українського павільйону:

робота органів місцевого самоврядування: досягнення кліматичної нейтральності та планування зеленої відбудови/відновлення;

декарбонізація енергетичного сектору;

екоцид та збитки, завдані довкіллю внаслідок воєнних дій;

екологізація бізнес-діяльності;

участь молоді у просуванні кліматичної політики та зеленої відбудови;

екологічна освіта.

Український павільйон на COP29 присвячений силі спільних зусиль – від 8 пункту Формули миру Президента України до плану досягнення кліматичної нейтральності, від розбудови відновлюваної енергетики до інновацій в агропромисловості, від українських екологічних стартапів, якими вже користується світ, до десятків прикладів щоденного героїзму людей, які попри всі загрози захищають довкілля.

2.6 Загальні підходи до вирішення проблеми зміни клімату

У Стратегії біорізноманіття ЄС до 2030 року наголошується, що криза біорізноманіття та кліматична криза тісно пов'язані між собою. Зміна клімату прискорює руйнування природного середовища через посухи, повені та лісові пожежі, у той час як знищення та нераціональне використання природи є ключовими чинниками зміни клімату [35].

Але, як кризи пов'язані між собою, так пов'язані й шляхи їх вирішення. Природа є життєво необхідним союзником у боротьбі зі зміною клімату. Природа регулює клімат, а природоорієнтовані рішення – такі, як захист і відновлення водно-болотних угідь, торфовищ та прибережних екосистем, забезпечення збалансованого управління морськими акваторіями, лісами, трав'яними екосистемами й сільськогосподарськими ґрунтами, будуть мати важливе значення для скорочення викидів і адаптації до зміни клімату. Висаджування дерев і розгортання зеленої інфраструктури допоможуть охолодити міські райони та пом'якшити наслідки стихійних лих [2, 35, 36].

Загальними підходами до вирішення проблем антропогенної зміни клімату є *пом'якшення наслідків*, тобто запобігання надмірним викидам парникових газів, сприяння їх поглинанню, а також *адаптація до зміни клімату*. Особливість сучасних антропогенних процесів – у їх значній швидкості, що не є природною для екосистеми і не дозволяє їй встигнути адаптуватися. Це вимагає посилення роботи щодо адаптації, розвитку відповідної власної інфраструктури, що має забезпечуватися постійним фінансуванням, у тому числі через створення екологічного фонду за кошти екологічного податку з їх подальшим використанням виключно на природоохоронні цілі. [2, 36]

Актуальними питаннями, що потребують науково обґрунтованих рішень, є реалізація національних програм спостережень і вивчення зміни клімату, боротьби з деградацією земель та опустелюванням, підвищення лісистості, відновлення й сталого використання торфовищ, збільшення територій та об'єктів природно-заповідного фонду, використання кращих вітчизняних практик землекористування й агротехнологій, спрямованих на адаптацію до зміни клімату та пом'якшення її негативних наслідків.

Ефективна адаптація до зміни клімату може бути реалізована на базі комплексу документів економічного спрямування, зокрема щодо оподаткування, ліцензування, субсидування, запровадження стандартів, технологій, посилення вимог до об'єктів критичної інфраструктури, фінансування науково-технічних робіт, а також підвищення обізнаності населення у питаннях зміни клімату. Можливими прикладами з адаптації до зміни клімату є: адаптація будівельних норм до майбутніх кліматичних умов та екстремальних погодних явищ, побудова та підвищення рівня дамб для захисту від повеней, розвиток посухостійких сільськогосподарських культур, створення систем раннього попередження циклонів [2, 36].

Перехід на відновлювану енергетику, відмова від викопного палива та великої централізованої інфраструктури до розподілених енергетичних ресурсів

відновлюваних джерел і систем накопичення й зберігання енергії – це інвестиції в майбутнє країни.

Через низьку собівартість енергії з відновлюваних джерел, їхній малий вуглецевий слід, перехід на ВДЕ вважається найбільш економічно та екологічно доцільним варіантом розвитку.

Заходи в Україні щодо протидії зміні клімату

Як Сторона Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, Україна зобов'язана скорочувати викиди парникових газів та адаптуватись до зміни клімату. Тому національна Стратегія й програма розвитку економіки держави враховують і включають питання адаптації. Держава постійно підтримує оновлення оцінки фактичних і моделювання майбутньої зміни клімату та проводить адаптацію до наслідків для територіальних громад, природних екосистем, секторів економіки [2].

Уряд України один з перших ратифікував Паризьку угоду, а у 2021 р. подав оновлений Другий Національно визначений внесок (НВВ2) до Паризької угоди з метою скоротити викиди парникових газів до 2030 року на 65% від рівня 1990 року. Для досягнення поставленої мети було визначено ключові заходи у секторах електроенергетики, теплопостачання, промисловості, лісового господарства, транспорту, сільського господарства, управління відходами, житлово-комунальному секторі [36].

Вперше кліматична мета України передбачає реальне зниження викидів парникових газів від теперішніх рівнів (-7% у 2030 році у порівнянні з 2019 роком), а не їх підвищення, як було раніше. Для реалізації цієї мети Україна має відмовитися від видобутку та використання викопного палива, підвищити енергоефективність та побудувати нові потужності, які виробляють енергію з відновлюваних джерел [36].

Підраховано, що порівняно з 1990 роком, викиди у 2019 р. в Україні становили 37,4%. Тобто, зменшились викиди всіх парникових газів: не тільки CO₂, а й метану та закису азоту, які мають більший вплив на парниковий ефект. За цей час Україна зменшила викиди на 62,6%, ЄС, за той самий час – приблизно

на 24%. У 2022 р. через російську агресію, яка зруйнувала понад 200 промислових об'єктів, кліматична ціль вже виконана [2, 36].

У 2019 році Верховною Радою України прийнято Закон України №377-ІХ «Про засади моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» (далі – Закон про МЗВ) з метою виконання постанови Кабінету Міністрів України від 25.10.2017 р. № 1106 «Про виконання Угоди про асоціацію між Україною, з однієї сторони, та Європейським Союзом, Європейським співтовариством з атомної енергії і їхніми державами-членами, з іншої сторони» в частині впровадження актів законодавства ЄС у сфері довкілля, зокрема Директиви 2003/87/ЄС про встановлення системи торгівлі квотами на викиди парникових газів.

З метою реалізації положень Закону про МЗВ Кабінетом Міністрів України прийнято Постанови:

– «Про затвердження переліку видів діяльності, викиди парникових газів в результаті провадження яких підлягають моніторингу, звітності та верифікації» від 23.09.2020 № 880;

– «Про затвердження Порядку здійснення моніторингу та звітності щодо викидів парникових газів» від 23.09.2020 № 960;

– «Про затвердження Порядку верифікації звіту оператора про викиди парникових газів» 23.09.2020 № 959;

– «Про внесення змін до деяких постанов Кабінету Міністрів України з питань моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» від 14.11.2023 № 1203.

Окрім цього прийнято накази Міндовкілля:

– «Про затвердження Порядку державної реєстрації установок у Єдиному реєстрі з моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» від 03.02.2021 №75;

– «Про затвердження типових форм документів у сфері моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів та вимог до їх заповнення» від 15.02.2021 №113;

– «Про затвердження Порядку ведення Єдиного реєстру з моніторингу, звітності та верифікації викидів парникових газів» від 08.06.2021 №370;

– «Про затвердження Методичних рекомендацій з оцінки викидів парникових газів за видами діяльності установок» від 13.10.2021 № 671.

Україна приєдналась до спільної Ініціативи ЄС та США зі скорочення викидів метану (Global Methane Pledge), метою якої є досягнення глобальної цілі зі скорочення викидів метану на 30%. Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 07.07.2023 р. № 607 затверджено план заходів з реалізації кліматичної політики України в рамках участі в глобальній ініціативі із скорочення викидів метану «Global Methane Pledge».

Розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р схвалено Стратегію екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року та Операційний План реалізації у 2022 – 2024 роках Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року [33], розроблені з метою підвищення рівня екологічної безпеки, зменшення впливів та наслідків зміни клімату в Україні.

Відповідно до Стратегії, загрози екологічній безпеці України формуються через значний рівень забруднення атмосферного повітря, водних ресурсів, земельних ресурсів, недосконалої системи державного нагляду (контролю) та недостатньої ефективності моніторингу довкілля [33].

Реалізація Стратегії здійснюватиметься шляхом виконання заходів, визначених:

– операційними планами реалізації Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року, які схвалюватимуться розпорядженнями Кабінету Міністрів України на трирічний період;

– Національним планом дій з охорони навколишнього природного середовища на період до 2025 року, затвердженим розпорядженням Кабінету Міністрів України від 21 квітня 2021 р. № 443, та Національним планом дій з охорони навколишнього природного середовища на період до 2030 року.

З метою виконання завдань стратегії, проектом «Посилення спроможності регіональних та місцевих органів влади для впровадження та застосування

законодавства ЄС у сферах захисту навколишнього середовища, протидії кліматичним змінам та розвитку інфраструктурних проєктів)» (APENA3) надається підтримка в розробленні регіональних стратегій адаптації до зміни клімату.

У вересні 2022 р. підписана Угода між Україною та Європейським Союзом про участь України у Програмі ЄС LIFE - Програмі дій з довкілля та клімату (ратифікована Законом України № 2590-IX від 20.09.2022) [37], яка передбачає зобов'язання сторін посилити співробітництво у сфері охорони довкілля та їхню відданість принципам сталого розвитку і зеленої економіки.

Велика кількість міст та містечок України підписали міжнародну Угоду мерів (2011, [38]) і взяли на себе зобов'язання зменшувати викиди парникових газів до 2020/2030 років. Сім міст України (Житомир, Львів, Чортків, Кам'янець-Подільський, Баранівська ОТГ, Тростянець та Полтава) оголосили про рішення перейти на 100% відновлюваної енергетики до середини століття. Пізніше до них приєдналася Асоціація малих міст України, яка охоплює близько 160 населених пунктів. Зараз об'єднувати міста навколо енергобезпеки та кліматичної адаптації продовжує Угода мерів та Асоціація «Енергоефективні міста» [2].

Також розроблені заходи з енергоефективності, термомодернізації, податкових стимулів для досягнення кліматичних цілей, поетапної відмови від викопної енергетики. Ставлячи орієнтир на декарбонізацію економіки та зелене післявоєнне відновлення, Україна має шанси стати лідером і прикладом у цьому процесі. У післявоєнному відновленні буде важлива підтримка держави для розвитку відновлювальної енергетики та енергетичної незалежності [2, 36]

Висновки до розділу 2

1. Глобальна зміна клімату є однією з найбільших загроз людству з далекосяжним впливом на суспільство, навколишнє середовище та економіку.

2. Дослідники виділяють дві основні причини зміни клімату: підсилення парникового ефекту та збільшення викидів парникових газів.

3. Зміна клімату призводить до різноманітних наслідків у світі, зокрема: глобальне потепління, танення льодовиків, зменшення біорізноманіття, хвилі

тепла, збільшення кількості посух та пилових бурь, зміни в опадах, частіші й більш інтенсивні шторми, океанічні течії та їх зміни, кліматичні біженці.

4. Результати спостережень і наукових досліджень свідчать про певні наслідки зміни клімату в Україні: потепління, посухи, зниження водності річок та перерозподіл опадів, підняття рівня Чорного та Азовського морів.

5. Визначають три види реакцій біоти на зміну клімату: міграція, адаптація та зникнення.

6. Основними протидіями змінам клімату у світі є міжнародні кліматичні переговори та перехід на відновлювану енергетику.

7 Зміна клімату спричиняє опосередкований вплив на гідрохімічний режим акваторій, стан природної кормової бази, структуру іхтіценозів, умови відтворення й поповнення природних популяцій гідробіонтів.

8. Криза біорізноманіття та кліматична криза тісно пов'язані між собою, але також пов'язані й шляхи їх вирішення. Загальними підходами до вирішення проблем антропогенної зміни клімату є пом'якшення її наслідків – запобігання надмірним викидам парникових газів, сприяння їх поглинанню, а також адаптація до зміни клімату.

3 ОСНОВНІ ПІДХОДИ ДО ОЦІНКИ РИЗИКІВ ЗМІНИ КЛІМАТУ ДЛЯ БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Зміна клімату є комплексною і прогресуючою глобальною загрозою біорізноманіттю та екосистемам. З 1880 року до теперішнього часу середня глобальна температура зросла майже на 1°C, несприятливий вплив такого підвищення на біорізноманіття вже засвідчено та задокументовано багатьма дослідженнями. Ці дослідження показують, що скорочення біорізноманіття продовжується в усьому світі, оскільки багато екосистем втрачають відповідні умови для виживання частини їхніх видів. Деякі дослідження свідчать про вже доведений негативний вплив на види, а їхні результати сприяють поточній дискусії щодо стримування підвищення глобальної температури значно нижче 2°C порівняно з доіндустріальним рівнем, зазначеним у Паризькій угоді [1 – 4].

Основним впливом зміни клімату на біорізноманіття є збільшення інтенсивності та частоти пожеж, ураганів або періодів посухи. В Австралії наприкінці 2019 – на початку 2020 року 97 000 км² лісів і навколишнього середовища були знищені сильними пожежами, які, як тепер відомо, підсилились через зміну клімату. Це збільшує загрозу біорізноманіттю, яке вже зазнає стресу внаслідок іншої діяльності людини. Передбачається, що в результаті пожеж кількість видів, які перебувають під загрозою зникнення, у цьому регіоні могла збільшитися на 14%.

Підвищення температури в океанах впливає на морські організми. Корали особливо вразливі до підвищення температури, а закислення океану може ускладнити формування раковин і твердих скелетів моллюсків та коралів у верхніх шарах океану. Є ознаки того, що підвищення температури впливає на біорізноманіття, тоді як зміна режиму випадання опадів, екстремальні погодні явища та закислення океану спричиняють тиск на види, яким вже загрожує інша діяльність людини.

Вже є наукові дані, які дозволяють припустити, що скорочення вмісту водяної пари в атмосфері з 1990-х років призвело до того, що 59% рослинних площ в усьому світі демонструють зниження темпів зростання.

Природні місця існування відіграють важливу роль у регулюванні клімату й можуть сприяти поглинанню та зберіганню вуглецю. Відомо, що мангрові чагарники є значними природними поглиначами вуглецю, тому їх захист від подальших збитків є важливою частиною обмеження зміни клімату. Очікується зростання загроз біорізноманіттю, пов'язаних зі зміною клімату, проте стійкі природні екосистеми здатні пом'якшувати наслідки кліматичних змін.

Види реагують на кліматичні зміни через зміни у морфології й поведінці, фенології та географічних зрушеннях ареалу, ці зміни опосередковані пластичними й еволюційними реакціями.

Реакції у відповідь на зміни клімату з боку видів і популяцій у поєднанні з безпосереднім впливом зміни клімату на екосистеми (включаючи більш екстремальні явища) призводять до широкомасштабних змін продуктивності екосистем, видової взаємодії, підвищення вразливості до біологічних інвазій, збільшення інших емерджентних властивостей. Сукупно всі ці зміни значно впливають на послуги, які природні екосистеми можуть надавати суспільству. Не всі наслідки будуть вважатися негативними, проте навіть позитивні зміни можуть вимагати витратних коригувань.

Періодичні оцінки поточного й майбутнього впливу зміни клімату на екосистеми мають важливе значення для розроблення та оновлення планів управління природними ресурсами й оцінки заходів щодо адаптації. Велика кількість країн вивчає та застосовує запобіжні, гнучкі стратегії адаптації, які враховують історичні та майбутні перспективи, щоб мінімізувати витрати у довгостроковій перспективі, але їх реалізація ще не набула необхідного широкого поширення й систематичного характеру у загальносвітовому масштабі.

3.1 Основні ризики зміни клімату для біорізноманіття

Масштабні негативні зміни довкілля, викликані значною мірою діяльністю людей, призвели до катастрофічної деградації екологічних систем в усьому світі, знищення або істотне змінення яких наприкінці другого тисячоліття досягло 65%. Характерною особливістю цих змін є їхні темпи, які значно перебільшують швидкість природних флуктуацій, притаманних природному середовищу, що не дозволяє об'єктам живої природи адаптуватись до нових умов існування [1 – 3].

У сучасну епоху інтенсивних антропогенних перетворень багато науковців констатують, що у переважній більшості випадків відбувається більш-менш швидке збіднення природних угруповань і трансформація природних екосистем. Аборигенні (місцеві) флора та фауна й природні екосистеми зберігаються лише на обмежених територіях, де вплив людської активності стримується, головним чином, тільки завдяки особливим факторам, наприклад, виключній віддаленості, ефективному заповідному режиму. У той же час встановлено, що найвищу цінність мають непорушені людиною природні екосистеми, які надають велику кількість екосистемних послуг. У порушених екосистемах якість і спектр послуг, які вони здатні забезпечувати, суттєво знижуються [4 – 8].

Фахівці Всесвітнього фонду дикої природи (WWF) визначили зміну клімату однією з п'яти основних загроз біорізноманіттю, поряд з втратою середовища існування, інвазійними видами, забрудненням, надмірною експлуатацією природних ресурсів [9].

У Програмі Організації Об'єднаних Націй з навколишнього середовища (UN Environment Programme) відмічено, що у світі подовжується потрійна планетарна криза: зміна клімату, втрата біорізноманіття й забруднення відходами. Усі три чинники щільно пов'язані між собою і залежать один від одного [10].

Біорізноманіття – основний фундамент забезпечення екосистемних функцій і умов для життя людини. Втрати, викликані зміною клімату, будуть змінювати функції й зменшувати середовище проживання людини [11].

Наслідки зміни клімату просторово різні: відбуваються зміни середніх температур, опадів, рівня моря, збільшення антропогенного навантаження, що також пов'язано зі збільшенням частоти та інтенсивності екстремальних явищ, які впливають на біорізноманіття.

Встановлено, що несуттєва зміна клімату сумісна зі стійкістю екосистем і їхніми функціями, а швидка – негативно позначаються на різноманітті. Внаслідок глобальної зміни клімату з'являється серйозна загроза біорізноманіттю, яке вважається необхідною умовою стійкості біосфери.

Згідно з дослідженнями науковців [11 – 13] кілька компонентів зміни клімату (концентрація CO₂, температура, опади і динаміка світового океану) впливають на всі рівні біорізноманіття: *гени, види і середовище існування*.

Збільшення кількості атмосферного CO₂ вважається одним з основних чинників, що призведе до глобальних втрат біологічного різноманіття протягом наступного століття. Згідно з дослідженнями Міжурядової групи експертів зі зміни клімату, особливо у тропічних регіонах підвищення температури на 2°C визначається як критичне [13]. Відомо, що збільшення концентрації CO₂ стимулює ріст рослин і призводить до збільшення витрат води у рослин. CO₂ до теперішнього часу був обмежуючим фактором і лімітував у природі процес фотосинтезу, а тим самим, і ріст рослин.

Середня температура за останнє десятиліття збільшилася на 0,2°C, а кількість опадів протягом останніх 100 років – в середньому на 2% [13]. З підвищенням температури зростає швидкість багатьох фізіологічних процесів (наприклад, фотосинтезу в рослинах). Екстремальні температури можуть бути шкідливими, якщо вони виходять за межі фізіологічних можливостей організмів. За прогнозами, зміна кількості опадів буде менш послідовна глобально ніж температура, та більш помітно локально. Одні райони стануть більш вологими, а інші – ще більш посушливими. Також це може призвести до значних змін в деяких екосистемах, які залежать від живлення водою. Запаси води мають ключове значення для росту та розподілу рослин.

Зниження генетичної різноманітності популяцій

На базовому рівні біологічного різноманіття зміна клімату здатна знизити генетичну різноманітність популяцій через зміну напрямку відбору, генетичного дрейфу, диференціацію популяції та їх швидку міграцію. Як наслідок, зменшується адаптація до нових умов навколишнього середовища а отже – ризик вимирання зростає. Порівняно з минулими роками, прогнозовані темпи росту. Генетична адаптація більшості організмів до нових кліматичних умов малоімовірна. На цьому тлі міграція буде можлива для багатьох видів.

Зменшення видового багатства

Окремі види в нових умовах можуть збільшити чисельність або сфери перебування, але зміна клімату підвищує існуючі ризики знищення деяких більш уразливих видів і значно посилює загрозу втрати біорізноманіття [11].

Через глобальну зміну клімату у майбутньому очікується зменшення видового багатства, оскільки багато видів будуть не в змозі адаптуватися до швидко мінливих умов життя та опиняться перед загрозою зникнення. Зміна клімату вже призвела до зникнення окремих видів.

Зміни функціонування екосистем

Значна частина природних систем може виявитись особливо чутливою до зміни клімату, оскільки вони мають обмежену здатність до адаптації, а деяким з цих систем може бути нанесений істотний та незворотний збиток [11]. Зміни взаємодії видів безпосередньо впливають на функціонування і гомеостаз екосистеми. Оцінка змін екосистем за тисячоліття свідчить, що їх зазнали близько 5 –20% екосистем Землі. Зокрема, зміна клімату викликає зміни у рослинних і мікробних угрупованнях, що впливає на цілісність біому в цілому [13].

Фенологічні зміни у популяціях, у т. ч. зміщення циклів розмноження або затримки періодів зростання, впливають на видову взаємодію. Зокрема, фенологічні зрушення у квіткових рослин є несумісними між циклами їх запилювачів, що призводить до зникнення рослин і запилювачів. Встановлено, що при підвищенні середньої температури на 2⁰С рослини починають квітнути

на 5 – 30 днів раніше, коли існує загроза приморозків та ще відсутні комахи-запилювачі, що обумовлює негативний ефект [11, 13].

Зміни у розселенні видів – значний спектр видів поширився в напрямку полюсів і у вертикальному напрямку на височини, тенденція до міграцій продовжуватиметься. Домінуючі види поширюються, перерозподіляються в еконіші та займають не властиві їм біотопи, витісняючи аборигенні види. зміна ареалу внаслідок зміни умов зумовлює швидку появу та розселення інвазійних видів, серед яких багато небезпечних (бур'яни, алергени, хижаки тощо). Для території України яскравими прикладами є амброзія та борщовик, які сьогодні зустрічаються по всій території країни й становлять суттєву загрозу для здоров'я населення. Інвазійні види зазвичай більш життєстійкі та поступово повністю замінюють місцеві [11 – 13].

Особливе занепокоєння дослідників викликає *питання порогів стійкості екосистеми*, що призводить до незворотних змін у біомі. Такі пороги реально можливі через екологічне розуміння параметра стійкості або зміни екологічних факторів в якості альтернативних станів екосистем. Як показує потенціал *гістерезису* (неоднозначна залежність зміни фізичної величини, яка характеризує стан або властивість тіла, від зміни фізичної величини, що характеризує зовнішні умови), угруповання й екосистеми можуть бути у таких конфігураціях, після зміни яких вони погано відновлюються: наприклад, наслідки від вторгнення екзотичних видів, і небажаних змін рослинності у наземних екосистемах. Після того, як екосистема входить до зони небезпеки, одна з її частин знаходиться у небезпеці перетину порогового значення, решта – в іншому стані. Заходи щодо підвищення стійкості екосистем, тобто збереження біорізноманіття, набувають вирішального значення [13].

Зміна клімату також може призвести до *збільшення інтенсивності стихійних лих*, таких як повені, засухи та лісові пожежі. Ці події можуть мати серйозний вплив на екосистеми, знищуючи життя й структуру в них. Наприклад, пожежі можуть знищити ліси, які є домівками для багатьох видів рослин і тварин.

Це може призвести до зменшення біорізноманіття та навіть до вимирання деяких видів [11].

3.2 Оцінка кліматичних ризиків для адаптації екосистем

Зміна клімату може збільшити існуючі ризики та створити нові для природних та антропогенних систем. Масштаби потепління підвищують ймовірність важких та незворотних наслідків для людей, видів та екосистем. Великі викиди парникових газів, що продовжуються, призведуть до переважно негативних впливів на біорізноманіття, екосистемні послуги та економічний розвиток і збільшать ризики для джерел існування та продовольчої безпеки та безпеки людини. Ризики розподіляються нерівномірно і зазвичай є більш значними для менш захищеного населення, а також представників рослинного і тваринного світів.

За даними Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (МГЕЗК) при середній і високій швидкості зміни клімату протягом XXI століття багато видів рослин і тварин не зможуть адаптуватися в місцях проживання або досить швидко переміститись в райони з більш оптимальним кліматом. Також, в наступний період значна частина наземних, прісноводних та морських видів зіткнеться зі зростанням ризику зникнення, особливо внаслідок взаємодії зміни з іншими факторами стресу. Зникнення буде викликатись декількома, зумовленими зміною клімату, факторами – потепління, скорочення площі морського льоду, коливання кількості опадів, зменшення стоку річок, закислення океану, зниження рівня вмісту кисню у поверхневих водних об'єктах і взаємодією між цими факторами та одночасно зміною довкілля: забрудненням, евтрофікацією та впливом інвазійних видів.

При зміні клімату, у разі глобального потепління на 2°C, зрушення морських видів викличуть до середини XXI століття збільшення видового багатства та потенційних уловів риби, загалом, у середніх та високих широтах та їх зменшення у тропічних широтах та напівзамкнених морях. Зміна клімату посилює небезпеку надмірного рибного промислу та інших некліматичних

факторів стресу, викликаного закисненням океану. Закиснення океану впливає на фізіологію, поведінку і динаміку популяцій організмів, наприклад, морські екосистеми, особливо коралові рифи, знаходяться під загрозою зникнення. Моллюски з високим вмістом кальцію, голкошкірі та корали, що утворюють рифи, є більш чутливими порівняно з ракоподібними (високий ступінь достовірності) та рибами. Закиснення океану діє поряд з іншими глобальними змінами (наприклад, потепління, постійне зниження рівня вмісту кисню) та локальними змінами (наприклад, забруднення, евтрофікація) (високий рівень достовірності). Одночасно діючі фактори, такі як потепління та закиснення океану, можуть призвести до інтерактивних, комплексних та посилених впливів на види та екосистеми.

Вуглець, що міститься в наземній біосфері, може бути втрачений внаслідок зміни клімату, зменшення площі лісів та деградації екосистем. До аспектів зміни клімату, що безпосередньо впливають на вуглець, що зберігається в наземних екосистемах, відносяться високі температури, посухи, сильні вітри, а також антропогенні фактори, які пов'язані, наприклад, з біоорганічними відходами. Опосередковані ефекти включають підвищений ризик пожеж, шкідників та спалахів хвороб. Все це створює ризики для біорізноманіття, якості води, повітря і ґрунтів та економічної діяльності.

Для ефективною адаптації екосистем до зміни клімату, Федеральне міністерство довкілля (Німеччина) розробило Глобальний проєкт «Інтеграція EbA», який є частиною Міжнародної кліматичної ініціативи (МКІ).

Адаптація на основі екосистем (EbA) – це «використання біорізноманіття та екосистемних послуг як частини загальної адаптаційної стратегії для того, щоб допомогти людям адаптуватися до несприятливих впливів зміни клімату». Даний підхід є економічно ефективним і має супутні вигоди у соціальній, економічній та культурній сферах, а також користь для здоров'я (наприклад, вплив на здоров'я та добробут, додаткові джерела доходу, очищення води, уловлювання вуглецю, запилення, контролювання утворення відходів), і, при цьому, сприяє збереженню біорізноманіття.

Скоротити викиди парникових газів (ПГ) та підвищити стійкість до зміни клімату допоможуть інновації та інвестиції в екологічно безпечні технології та інфраструктуру. Ці заходи можуть підвищити доступність та/або ефективність варіантів адаптації та пом'якшення впливів. Наприклад, інвестиції в низьковуглецеві та вуглецево-нейтральні енерготехнології, контролювання утворення біоорганічних відходів можуть знизити енергоємність економічного розвитку, вуглеродомісткість енергії, викиди парникових газів та довгострокові витрати на пом'якшення впливів. Також, викиди можна суттєво скоротити за рахунок зміни моделей споживання.

Приклади потенційних компромісів, пов'язаних із набором варіантів адаптації, наведені у таблиці 3.1 [2].

Таблиця 3.1 – Приклади потенційних компромісів щодо адаптації сектору біорізноманіття до зміни клімату і для досягнення конкретних завдань управління

Завдання з адаптації	Варіанти адаптації	Реальні або передбачувані компроміси
Зміцнення потенціалу для природної адаптації і міграції до кліматичних умов	Міграційні коридори; розширення охоронюваних територій	Невстановлена ефективність; побоювання з приводу прав власності щодо придбання земельних ділянок; проблеми управління
Підвищення нормативно-правового захисту видів, які потенційно схильні до ризику, пов'язаного з кліматичними та некліматичними змінами	Захист критично важливих місць проживання уразливих видів	Послаблення вторинного, чи первинного тиску на види; побоювання щодо прав власності; нормативно-правові бар'єри для регіонального економічного розвитку
Сприяння збереженню цінних видів шляхом переведення популяцій в інші можливі місця проживання у міру зміни клімату	Сприяння міграції	Складність передбачення кінцевого успіху сприяння міграції; можливі несприятливі впливи на корінні види флори та фауни в результаті появи видів у нових екологічних регіонах

Концепція кліматичних ризиків [11] дозволяє урахувати всі аспекти соціально-екологічної системи – від небезпеки, пов'язаної зі зміною клімату, до соціальної і екосистемної уразливості і факторів схильності, які викликають ризики. Особлива увага приділяється залежності людей (соціально-економічний та культурний контекст) від екосистемних послуг, таких як харчування та водопостачання, буферизація екстремальних явищ та регулювання «парникового ефекту», які мають центральне значення для зниження ризиків та адаптації. Система повинна враховувати антропогенні і біофізичні фактори ризику та допомагати проводити стратегію адаптації, в якій використовуються вигоди, що забезпечуються екосистемами.

Ризики, пов'язані з кліматичним впливом, є результатом взаємодії небезпечних явищ з уразливістю та схильністю до антропогенних та природних стресів. Для достовірної оцінки кліматичних ризиків необхідно вказати ризики, яким приділяється основна увага, визначити типи небезпек та кліматичних впливів, що створюють ризик (ризики), а також уточнити, хто чи що може бути порушено. Приклади ризиків включають: ризик нестачі води, як потенційний наслідок кліматичного впливу; ризик відсутності продовольчої безпеки сільського населення; ризик зникнення видів біорізноманіття.

3.3 Підходи до оцінки ризиків зміни клімату у світі

Національна оцінка клімату (NSA) є ключовою оцінкою у Сполучених Штатах, і необхідна відповідно до Закону про глобальні дослідження в галузі клімату для узагальнення поточних і прогнозованих наслідків зміни клімату для різних секторів та регіонів країни. Останній опублікований Четвертий том NSA з прикладом однієї з найсучасніших оцінок впливу зміни клімату на біорізноманіття, екосистеми та екосистемні послуги у США (USGCRP, 2018) з ретельним розглядом та оцінкою розділів, присвячених природним ресурсам: «Екосистеми, екосистемні послуги та біорізноманіття» (гл. 7); «Ліси» (гл. 6); «Океани та морські ресурси» (гл. 9); «Берегові ефекти» (гл. 8) [14].

Відповідно до звіту наслідки зміни клімату в різних масштабах включають:

- 1) окремі організми, види, популяції, що створюють біорізноманіття екосистем;
- 2) властивості та процеси, характерні для екосистем;
- 3) товари й послуги, що надаються екосистемами та підтримують економіку й добробут людини.

Відносний вплив зміни клімату порівняно з іншими стресорами залежить від виду або екосистеми. Угруповання з високим біорізноманіттям та функціонуючі екосистеми мають вирішальне значення для підтримання екосистемних послуг, які забезпечують добробут людини [15, 16]. Управління природними ресурсами впливає на біорізноманіття, екосистеми та їхні послуги й може пом'якшити або посилити зміну клімату й некліматичні стресори.

Особини, популяції та види

Незважаючи на те, що наслідки зміни клімату широко поширені, вони не однакові. Багато доказів свідчить про те, що реакція на зміну клімату коливається залежно від відносної вразливості через різницю у впливі, чутливості й адаптивної здатності [17 – 20]. Нижче розглянуто основні впливи, які спостерігаються у масштабах окремих індивідів, популяцій і видів, а також механізми, що спричиняють ці зміни (рис. 3.1).

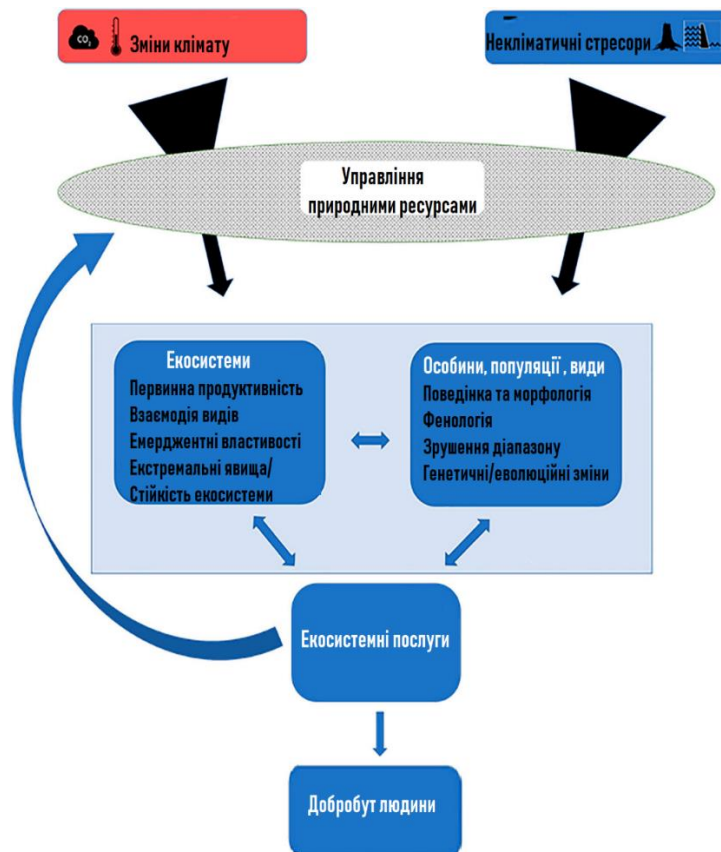


Рисунок 3.1 – Зміна клімату та некліматичні стресори, які взаємодіють і впливають на екологічні системи у різних масштабах [14]

Поведінка і морфологія

Один із способів, за допомогою якого організми справляються зі змінами у навколишньому середовищі, – це зміна їх поведінки або морфології. Поведінкова реакція на зміну клімату може бути наслідком зміни температури й проявляється на рівні популяції та видів, наприклад, зміни розподілу або зменшення популяції [21]. Поведінкові реакції включають пошук тіні чи притулку, зміну часу годування, зміну використання місця та зміну циркадних або добових ритмів тощо.

Морфологічні зміни зазвичай проявляються у зміні розмірів тіла. Наприклад, підвищення літніх температур було пов'язано зі зменшенням розміру тіла та збільшенням довжини крил північноамериканських перелітних птахів. У ектотермів, де швидкість метаболізму чутлива до температури, більш висока температура може пришвидчувати темпи росту, але у кінцевому підсумку

призвести до зменшення розміру тіла. Подібний прямий вплив температури на зростання тіла спостерігався, наприклад, у американського омара та атлантичної тріски під час нещодавнього потепління у північно-західній Атлантиці. Морфологічні реакції, однак, є складними та дуже варіабельними: зміни у фенотипі можуть не спостерігатися, якщо генетичні зміни протидіють впливу навколишнього середовища. Крім того, короткострокові вигоди можуть не бути адаптивними у довгостроковій перспективі [22 – 30].

Фенологія

Фенологія, або сезонний час біологічних подій, що повторюються, є найважливішою частиною екологічних взаємин та основним індикатором реакції видів на зміну клімату. На більшій частині суші США про значні зміни у морському середовищі свідчить ранній початок міграції птахів у порівнянні з середніми показниками ХХ століття. Незважаючи на те, що зміни у фенології добре задокументовані, тенденції далекі від гомогенних, що є результатом високої мінливості кліматичних факторів і фенологічних реакцій у різних типах місцеперебування [31 – 37]. Поведінка мігруючих птахів є яскравими прикладами фенологічних зрушень з великою кількістю документальних підтверджень більш ранньої міграції та більш раннього розмноження у відповідь на підвищення температури й зміни характеру опадів.

Фенологічні зрушення у морському та водному середовищі мешкання менш вивчені порівняно з наземними системами, головним чином через відмінності у виявленні й відстеженні водних організмів. Тим не менш, спостерігаються чіткі зрушення у напрямку зміни сезонних водних і морських абіотичних факторів, включаючи більш ранні переходи від зимових до весняних температур та більш раннє танення льодів та стік. Морський фітопланктон може швидко реагувати на такі абіотичні коливання, які впливають на терміни цвітіння фітопланктону та, у свою чергу, можуть призвести до невідповідності з вторинними консументами й зміни структури харчової мережі. Фенологічні зміни спостерігалися також у прісноводних і прибережних системах, включаючи прогрес у зимовій нерестовій фенології кижуча (*Oncorhynchus kisutch*) та кети

(O. keta) у Тихому океані на північному заході, що призвело до фенологічних змін у популяціях білоголового орлана (*Haliaeetus leucoscephalus*) [32, 38 – 43].

Диференціальні зрушення у фенології серед взаємодіючих організмів можуть призвести до зниження репродуктивного потенціалу та/або посилення хижацтва чи конкуренції. Крім того, фенологічні зміни у видів з кількома життєвими стадіями є складними, а зрушення, сприятливі для однієї стадії, можуть бути згубними для іншої [44 – 48]. Тим не менш, лише деякі види мали задокументовані наслідки несвоєчасного розмноження на популяційному рівні, ймовірно, через пом'якшувальні ефекти залежності від щільності та здатності змінювати кормову базу або поведінку. Асинхронні фенологічні зрушення можуть порушити функціонування, стійкість і сталість динаміки популяції, екосистем та екосистемних послуг [32, 49 – 52].

Зміщення географічного діапазону

Зміна клімату призводить до великомасштабних зрушень у розподілі видів, чисельності та реорганізації наземних і водних екосистем. Географічні зміни ареалу широко поширені у таксонах і екосистемах, 55% яких, згідно з нещодавнім оглядом видів рослин і тварин у помірній Північній Америці, або скоротили теплу межу, або розширили холодну межу свого ареалу. Документально підтверджені зрушення у бік полюсів, вгору та углиб у середньому на десятки кілометрів за десятиліття. Наприклад, чисельність птахів Північної півкулі скорочується вздовж південних і нижчих меж ареалу виду [53 – 58].

Морські організми також демонструють зрушення ареалу, у деяких випадках більш швидкими темпами порівняно з наземними екосистемами, відповідно до швидкості зміни клімату. Наприклад, більшість морських таксонів, проаналізованих в огляді 2013 р., зміщувалися у напрямках, що відповідають швидкості зміни клімату. Однак, ця реакція неоднорідна, у деяких випадках спостерігається ефект запізнення [59 – 62].

В арктичному морському середовищі відбуваються зміни морського крижаного покриву, підвищення температури та закислення океану, що

призводить до зміщення ареалу мешкання морської риби, членистоногих і морських ссавців. Деякі морські екосистеми помірного поясу «тропікалізуються», при цьому тропічна риба поширюється до полюса, викликаючи скорочення рослинних угруповань макроводоростей [63 – 65].

Незважаючи на свідоцтва широкомасштабних зсувів діапазону, було задокументовано менше зрушень, ніж очікувалося на основі прогнозів. Деякі зрушення збігаються з прогнозними очікуваннями, які ґрунтуються виключно на змінах температури. Непрямі наслідки зміни клімату й взаємодіючих екологічних та еволюційних процесів можуть ускладнювати прогнозування. Для точного прогнозу зрушень також необхідно враховувати мікроклімат, складні топографічні фактори – такі, як зміни у землекористуванні [66 – 74].

Документування зрушень ареалу є складним завданням, що потребує вихідної інформації про історичні ареали, яка відсутня для багатьох видів, екосистем і географічних районів. Крім того, етапи життя, які найбільше реагують на клімат, можуть не перебувати у центрі уваги моніторингу або мати ефект запізнення [75].

Механізми та швидкість змін

Реакція організму на зміну клімату може бути зумовлена генетичними (еволюційними) або негенетичними (пластичними) процесами. Така відмінність важлива, оскільки цей механізм визначає швидкість відповіді, а також те, чи зможуть особини, популяції й види швидко пристосуватися. Пластичні реакції виникають протягом життя особини та виявляються майже миттєво, тоді як еволюційні зміни потребують кількох поколінь. У даний час дослідники починають вивчати роль епігенетичних реакцій, в яких фактори навколишнього середовища змінюють експресію генів і можуть бути передані майбутнім поколінням, а також які відбуваються між поколіннями та вважаються проміжними реакціями. Відмінність між пластичними/епігенетичними реакціями та еволюційними змінами не завжди зрозуміла, оскільки здатність організму реагувати через ці механізми може успадковуватися й зазнавати еволюційного тиску [76 – 82].

Деякі швидкі реакції у відповідь відображають довгу історію генетичної адаптації до природної мінливості клімату й можуть сприяти збереженню під час зміни клімату, дозволяючи популяціям зберігатися досить довго для генетичної адаптації. Незважаючи на те, що деякі пластичні реакції часто ефективні для підвищення виживання у короткостроковій перспективі, вони не мають користі у довгостроковій: наприклад, такі реакції можуть впливати на плодючість (наприклад, менші розміри тіла зазвичай виробляють менше яєць і більше динаміки бумів/спадів популяції. Негативні наслідки пластичних реакцій у відповідь часто відкладаються із затримкою, їх важко виміряти, тому важливо відстежувати довгострокові демографічні реакції у відповідь, щоб переконатися, що групи організмів, які викликають занепокоєння, справляються зі зміною клімату [83 – 85].

Темпи зміни клімату часто перевищують середні темпи еволюційних змін. Тим не менш, еволюція може відбутися протягом дуже невеликої кількості поколінь, якщо популяції переживуть сильний відбір і за умов сприятливої генетичної мінливості. Значна селекція зазвичай пов'язана з високою смертністю, тому популяції стикаються з винищенням, перш ніж вони зможуть ефективно адаптуватися у процесі еволюції. Справді, недавні мета-аналізи показують, що навіть види, які демонструють адаптивні фенотипічні реакції, можуть адаптуватися надто повільно, щоб відповідати змінам клімату [79, 86 – 88].

В останні роки значна теоретична та емпірична робота була зосереджена на прогнозуванні та вимірі темпів реагування на зміну клімату. Швидкі зміни ознак є звичайним явищем і добре задокументовані, але більшість випадків узгоджуються із пластичними, а не еволюційними механізмами. Незважаючи на те, що існують приклади еволюційних реакцій у декількох таксонів, недостатність доказів може бути обумовлена відбором і генетичними ландшафтами, методологічними обмеженнями, що перешкоджає вимірюванню генетичних змін, та зміненими взаємодіями видів, які можуть випереджати еволюційні реакції. Темпи еволюції важко передбачити, оскільки відбір впливає

на багато ознак одночасно, можливо, з протилежними реакціями на різних етапах життєвого циклу або місцеперебування. Однак, у зв'язку з тим, що реакції у відповідь різняться за ступенем зниження ризику зникнення, відстеження множинних заходів у відповідь і розуміння їх обмежень має вирішальне значення для успішного управління ресурсами [89 – 95].

Екосистеми

Зміни, які спостерігаються на рівні екосистеми у відповідь на зміну клімату, зумовлені прямим впливом змінних чинників клімату та взаємодіючими ефектами реакцій на рівні видів і популяцій. Дослідники зосереджуються на кількох ключових характеристиках і властивостях рівня екосистеми, на які впливає зміна клімату: первинна продуктивність; взаємодії видів та емерджентні властивості, включаючи біологічні інвазії; вплив екстремальних подій на стійкість екосистеми.

Первинна продуктивність

Майже все життя на Землі залежить від первинних продуцентів – фотосинтезуючих організмів, які є основою більшості харчових мереж і відповідають за вироблення кисню на Землі, регулювання важливих компонентів кругообігу та поглинання вуглецю. Зміна клімату по-різному вплинула на первинну продукцію у просторових і часових масштабах. Зміни у первинному продукуванні, ймовірно, будуть посилені на вищих трофічних рівнях, що призведе до подальших суттєвих змін у функціонуванні екосистем [96, 97].

Відомо, що в усьому світі показники наземної первинної продукції зросли наприкінці ХХ та на початку ХХІ століть завдяки удобрювальному ефекту збільшення атмосферного CO_2 , додавання поживних речовин у результаті діяльності людини, більш тривалим періодам вегетації та відростанню лісів. Однак регіональні тенденції відрізняються, різні компоненти зміни клімату можуть мати протилежний вплив на продукційні процеси, у той час як підвищення CO_2 в атмосфері може посилити ріст рослинності. Наприклад, надлишок або брак поживних речовин, дефіцит води й забруднення повітря можуть обмежити ріст. Потепління та збільшення CO_2 в атмосфері також може

вплинути на підземні біогеохімічні процеси, зокрема, кругообіг вуглецю й азоту, що може вплинути на наземне продукування [94, 98].

Спричинені кліматом зміни первинної продуктивності лісів залежать від типу лісу та висоти. Первинне продукування, ймовірно, зменшиться у лісах, де доступність води у ґрунті обмежена протягом вегетаційного періоду, але, ймовірно, збільшиться у лісах з обмеженим енергоспоживанням, де сніг і низькі температури обмежують період вегетації. Однак, навіть у енергетично обмежених лісах посуха та екстремальні температури можуть уповільнити зростання [100 – 102].

У морських і водних системах фітопланктон відповідає майже за всю первинну продукцію та генерує близько половини загальної світової первинної продукції. Швидкість росту фітопланктону впливає на поглинання CO₂ з морської води та експорт органічного вуглецю у глибини океану, а також на продуктивність рибного господарства. Подібно до наземних систем, вплив зміни клімату на морську первинну продукцію залежить від регіону; потепління у помірних і тропічних океанах може збільшити стратифікацію, обмежуючи підняття поживних речовин з глибин, що стимулює нове продукування. Навпаки, зменшення льодового покриву на вищих широтах збільшує доступ сонячного світла до поверхні океану, подовжуючи сезони вегетації фітопланктону та збільшуючи щорічну первинну продукцію. Розуміння того, як ці зміни впливають на харчові ланцюги, має вирішальне значення для підтримання сталого рибальства [103 – 105].

Видові взаємодії, емерджентні властивості та біологічні інвазії

Мінливість впливу на види та реакції на зміну клімату є основними рушійними силами зміни взаємодії видів. Виникаючі властивості екосистем, у тому числі характеристики угруповань, такі, як структура харчової мережі й функції, що опосередковуються взаємодією видів, змінюються, оскільки види змінюють своє розповсюдження й фенологію у відповідь на вплив клімату. Очікується, що вищі трофічні рівні будуть більш чутливими до зміни клімату через зміни попиту хижаків, а також частоти пошуку та зустрічі. Однак,

функціональні реакції відрізняються й залежать зокрема від таких показників, як видовий склад, абіотичні умови, розміри тіла та взаємодії між хижаком і жертвою. У сукупності ці зміни призводять до нових (тобто, видовий склад або функції повністю змінені) або гібридних (тобто, деякі історичні характеристики зберігаються, але структура та склад знаходяться за межами історичного діапазону мінливості) екосистем і змінених міжвидових зв'язків без історичних причин [106 – 109].

Виникаючі властивості екосистеми важче передбачити, ніж прямі впливи на окремі види, оскільки вони розвиваються у результаті взаємодії в усій системі. Моделювання зазвичай використовується для оцінки змін у взаємодії видів, але для багатьох видів та екосистем залишається висока невизначеність через відсутність базових досліджень біотичних взаємодій, структури та функцій угруповання, адаптивної здатності й взаємодії кліматичних і некліматичних стресорів [17, 110, 111].

Останніми роками стрімко зростає кількість досліджень, які оцінюють прямий та непрямий вплив клімату на зміни властивостей екосистем. Дослідження також надають більш детальні оцінки поведінкових змін, у тому числі фенологічних, репродуктивних і змін у стратегіях пошуку їжі, наприклад, як підвищення температури посилює хижацтво щурів, що може негативно вплинути на популяції птахів. Нарешті, дослідження припускають, що володіння популяційно-специфічними ознаками або місцеві адаптації можуть дозволити видам переходити та зберігатися у нових середовищах. Більш складні моделі, які враховують багатовидову взаємодію, структуру угруповання, дисперсію та еволюцію, необхідні для того, щоб робити надійні прогнози, хоча складні моделі не завжди можуть покращити можливості прогнозування. [17, 112].

Додаткове занепокоєння викликає те, що зміна клімату сприяє інтродукції й поширенню немісцевих інвазійних видів. Глобальні економічні витрати, спричинені інвазійними видами, наразі оцінюються у понад 1,4 трильйона доларів США на рік, і зміна клімату може посилити ці наслідки. Багато немісцевих інвазійних видів можуть скористатися мінливими умовами,

колонізувати порушені території та витіснити види у конкуренції, змінюючи склад угруповання, домінування, продукування та збільшуючи ризик вимирання у деяких випадках. Крім того, немісцеві інвазійні рослини більш позитивно, ніж місцеві рослини, реагують на збільшення CO₂, відкладення азоту та температуру, що, ймовірно, підвищує їхню конкурентоспроможність в умовах зростаючої зміни клімату. Більш сильна конкурентна здатність, ймовірно, призведе до більшої чисельності немісцевих інвазійних рослин і зниження чисельності місцевих видів, а також різноманітності угруповання. Проникнення немісцевих видів у природні угруповання вже негативно вплинуло на біорізноманіття. Хоча нові взаємодії інвазійних і місцевих видів, які змінюють ареал, часто негативно впливають на екосистеми та пов'язані з ними послуги, реакції видів можуть мати суперечливі результати [113 – 120].

Екстремальні події та стійкість екосистеми

Зміна клімату змінила тривалість, величину та частоту екстремальних подій, включаючи посухи, лісові пожежі й хвилі спеки. Багато з цих подій мають значний вплив на екосистеми та взаємодіють з іншими кліматичними змінами, знижуючи екологічну стійкість.

Екстремальні посухи та лісові пожежі, викликані підвищенням температури та зміною режиму опадів, впливають на структуру й функціонування екосистем, особливо лісових. Однак реакції відрізняються і можуть сповільнюватись у видів з тривалим життєвим циклом. Посуха послаблює захисні сили дерев, підвищуючи сприйнятливість до інших факторів, зокрема комах, патогенних організмів, інвазійних видів та лісових пожеж. У той час, як вплив посухи має прямі довгострокові наслідки, збурення, спричинені посухою, можуть призвести до більш миттєвих змін у структурі та функціях лісової екосистеми [121 – 123].

Раннє весняне потепління, підвищення дефіциту тиску пари й зменшення літніх опадів призводять до збільшення тривалості та площі пожеж [124 – 126].

У Північній Атлантиці підсилюються шторми через зростання температури океану й підвищення рівня моря [127 – 129]. Є також докази того,

що тропічні циклони спричиняють більше екстремальних опадів, навіть якщо швидкість вітру не збільшується [130]. Підвищена інтенсивність шторму може впливати на екосистеми й людські спільноти через екстремальні повені, ерозійні хвилі та сильні штормові нагони, що ускладнює відновлення після екстремальних подій.

Екосистемні послуги

Різноманітні біологічні угруповання та функціонуючі екосистеми мають вирішальне значення для забезпечення екосистемних послуг, які підтримують добробут людини. Таким чином, вплив зміни клімату на види, популяції та екосистеми впливає на доступність і надання основних видів екосистемних послуг.

Послуги з надання ресурсів

Спричинені кліматом зміни у забезпечуючих послугах і матеріальних благах, які люди отримують від екосистем та біорізноманіття, можуть мати глибокий вплив на економіку й добробут людей. Наприклад, вплив клімату на лісисті вододіли, включаючи підвищення температури, зміни опадів і снігопадів, а також такі порушення, як лісові пожежі, змінюють режими надходження прісної води для муніципалітетів, сільського господарства та виробництва електроенергії [131]. У посушливі роки в деяких місцях ймовірна нестача поверхневої води. Підвищення температури потоку також впливає на якість води. Також лісові пожежі можуть збільшити відкладення осадів у струмках, озерах і водосховищах. Ці зміни призводять до навантаження на водопостачання, потенційно збільшуючи витрати на очищення води.

Зміни у водопостачанні разом з іншими наслідками зміни клімату можуть змінити сільськогосподарське виробництво. Посухи та інші екстремальні явища можуть знизити врожайність і якість сільськогосподарських культур, причому прогнозується зниження виробництва кількох важливих видів сільськогосподарських культур із підвищенням температури [132].

Регулюючі послуги

Біорізноманіття та екосистеми забезпечують важливі регулюючі послуги, такі як поглинання вуглецю, пом'якшення наслідків екстремальних подій, підтримка якості ґрунту й повітря та контроль за поширенням хвороб.

Зберігання вуглецю є важливою послугою, яка буде все більш важливою з прискоренням зміни клімату. Незважаючи на те, що площа лісів у країні з 2000 року зросла, незрозуміло, чи буде накопичення вуглецю внаслідок лісонасадження й надалі переважати над викидами від знищення лісів [133]. Крім того, накопичення вуглецю у багатьох лісах, швидше за все, зменшиться через високі температури, збільшення водного стресу та збурення, а також зниження темпів поглинання CO₂ старіючими лісами порівняно з лісами, які відновлюються після минулих порушень.

Прибережні водно-болотні угіддя є високопродуктивними екосистемами, які накопичують вуглець, а також забезпечують природний захист від ерозії, хвиль, повеней і штормових нагонів [134]. Оскільки діяльність людини або підвищення рівня моря погіршують прибережні водно-болотні угіддя, їх здатність надавати ці послуги зменшується.

Екосистеми також регулюють розподіл, чисельність і життєві цикли організмів, які переносять хвороби [135]. Зміна клімату впливає на здатність екосистем надавати цю послугу, оскільки змінюються ареали видів, чисельність і умови існування.

Допоміжні послуги

Підтримуючі екосистемні послуги полегшують основні функції екосистем, такі як первинна продуктивність, кругообіг поживних речовин і підтримка генетичного різноманіття. З підвищенням температури розкладання органічної речовини ґрунту загалом посилюється, потенційно збільшуючи втрати вуглецю ґрунтом і змінюючи баланс C : N [136]. Відомо, що на ці зміни впливають біотичні взаємодії, включаючи непрямі зміни складу мікробного угруповання ґрунту.

Дії, пов'язані зі зміною клімату (наприклад, спалювання викопного палива), призводять до збільшення відкладень азоту, що має значний вплив на наземні й водні екосистеми, зокрема через евтрофікацію. Поєднання зростання вмісту поживних речовин і підвищення температури збільшує частоту, тривалість і масштаби розвитку ціанобактерій, відповідальних за цвітіння водоростей, що може негативно вплинути на здоров'я людей і тварин [137, 138].

Культурні послуги

Культурні послуги – це нематеріальні вигоди, які люди отримують від біорізноманіття та екосистем, наприклад, культурна ідентичність, відпочинок, психічне й фізичне здоров'я. Незважаючи на їх важливість для добробуту людей, відмічається, що ці послуги були недостатньо вивчені порівняно з іншими.

З'являється все більше доказів того, що контакт із природними екосистемами сприяє здоров'ю людини; навпаки, кліматичні екстремальні явища, такі як підвищення температури й шторми, можуть погіршити психічне та фізичне здоров'я. Непрямі економічні витрати (такі, як втрата засобів до існування) також можуть спричинити несприятливі соціально-психологічні наслідки [139].

Вразливість людських спільнот

Адаптивна здатність людських спільнот справлятися зі змінами екосистемних послуг, частково визначатиме величину впливу на добробут. У той час, як деякі людські спільноти були активними у визначенні та плануванні змін, інші – більш уразливими через знижену здатність до адаптації.

Найвразливіші верстви суспільства, включаючи дітей, людей похилого віку, людей з економічною неблагополуччям, бездомних і тих, хто вже мав психічне захворювання, як правило, найбільше страждають від зміни клімату та, як наслідок, впливу на екосистемні послуги [140].

Використання технологій та інфраструктури

Людським спільнотам може знадобитися адаптація шляхом оновлення технологій та інфраструктури (табл. 3.2). Екстремальні події часто спонукають до адаптації.

Таблиця 3.2– Приклади удосконалення управління через зміну біорізноманіття, екосистем і екосистемних послуг, які можуть підвищити стійкість, використовувати оновлені технології чи інфраструктуру або бути включені у підходи до управління. [14].

	Підвищення стійкості екосистем	Використання технологій та інфраструктури	Удосконалення управління
Особини, популяції, види	Підтримка розмірів популяцій, зв'язків та потоку генів для забезпечення зсуву ареалів та підвищення еволюційної стійкості популяцій та видів	Зіставлення окремих генотипів з майбутнім середовища в умовах прогнозованої зміни клімату, підвищення адаптивності видів	Розглядаючи вплив зміни клімату на зниклі види та такі, що знаходяться під загрозою зникнення, у рішеннях про внесення до списків можна покращити загальне розуміння вразливості
Екосистеми	Скорочення некліматичних стресорів, таких як забруднення довкілля та інвазійні види, для мінімізації наслідків зміни клімату	Прийняття використання природної інфраструктури для підвищення стійкості природних угруповань, використання програм, спрямованих на боротьбу з іншими стресовими факторами	Впровадження використання прикордонних організацій може сприяти діалогу між різними зацікавленими сторонами в екосистемах, які перетинають кордони кількох юрисдикцій, і шукати ефективність у боротьбі з кількома стресовими факторами
Екосистемні послуги	Підтримка біорізноманіття та екологічної надмірності, щоб мінімізувати втрати цінних послуг	Прогнозування екологічних умов для підготовки до економічних змін у певній галузі (наприклад, рибальство)	Сприяння врахуванню екосистемних послуг і відповідного кліматичного впливу в рамках федерального планування та прийняття рішень

Підходи NNBI забезпечують супутні переваги з точки зору середовища існування, якості води та відпочинку і можуть бути більш дешевими та краще пережити екстремальні події, ніж традиційна інфраструктура [141, 142]. Хоча довгострокове планування може вимагати переселення деяких прибережних громад через надмірно високу вартість або неможливість захисту від підвищення рівня моря, підходи NNBI можуть принаймні пом'якшити деякі короткострокові наслідки та дати громадам більше часу для розгляду варіантів. Підходи NNBI часто не настільки добре відомі або не мають довіри у порівнянні з традиційними (наприклад, дамбою) підходами; тому важливо збільшити кількість інформації щодо ефективності цих методів, повідомити про переваги екосистемних послуг, а також посилити координацію й планування навколо спільних соціально-екологічних цілей [159].

Зміцнення управління

Федеральні агентства, які управляють природними ресурсами, все частіше враховують вплив зміни клімату у своїх планах управління (Національне партнерство з адаптації до клімату дикої природи і рослин, Служба національних парків [143,144] та ін.). Наприклад, Національна служба морського рибальства розробила вказівки щодо того, як інформація про зміну клімату має враховуватися у рішеннях Закону про зникаючі види (ESA) (Національна служба морського рибальства, 2016). Служба охорони рибних ресурсів і дикої природи США також враховувала зміну клімату в рішеннях про включення до списку, біологічних висновках і запропонованих альтернативних діях згідно з ESA (наприклад, Служба рибних ресурсів і дикої природи США, 2008, 2010). Проте, навіть коли зміна клімату внесена до списку загроз, конкретних управлінських дій часто бракує.

Незважаючи на прогрес, інституційні бар'єри (зосередженість на короткостроковому плануванні, фіксовані політики та протоколи, юрисдикційні обмеження та усталена практика управління на основі історичних умов, залишаються проблемою [145]. Навіть за наявності директив щодо адаптації до клімату на рівні відомства реалізація дій на місцях може бути складною через

брак фінансування та часу, негативне сприйняття громадськістю та труднощі з передачею інформації між дослідниками та менеджерами.

Сприяння місцевим ініціативам з адаптації до клімату також може бути ефективною стратегією управління. Самовизначення та самоврядування племен і корінних народів, а також залучення кольорових громад або користувачів природних ресурсів, таких як рибалки у певних місцевостях, підтримує використання місцевих знань і культурних практик, які можуть відстежувати, адаптуватися до навколишнього середовища та пом'якшувати його зміни [146, 147].

Таким чином зміна клімату є поширеною та зростаючою загрозою для біорізноманіття, екосистем та екосистемних послуг. Вплив клімату спостерігався та спостерігатиметься й надалі на рівні окремих людей, популяцій та видів через зміни у поведінці та морфології, зміни ареалу, а також на рівні екосистем через зміни у первинній продукції, взаємодії видів і емерджентних властивостях, а також екстремальних подіях.

Екосистеми та біорізноманіття лежать в основі важливих послуг для людей, таким чином ці зміни впливають на надання, регулювання, підтримку та культурні послуги з наслідками для добробуту людини. Ефективне управління вимагатиме гнучких, активних підходів, які враховуватимуть потенційні наслідки зміни клімату. Менеджери починають впроваджувати ці стратегії, але стикаються з проблемами через брак інформації та інституційні бар'єри. Широке включення зміни клімату в управління природними ресурсами ще не досягнуто, але з'являються приклади, які допомагають підвищити обізнаність і надають тематичні дослідження у різних секторах.

3.4 Мета-аналіз реакції розподілу видів на зміну клімату

До несприятливих наслідків зміни клімату належать зміни у середовищі існування та складі видів і, як наслідок, зміни у функціонуванні екосистеми. У роботі [148] було оцінено величину очікуваних змін біорізноманіття на основі мета-аналізу реакції розподілу видів на зміну клімату. Основна увага була

зосереджена на частці місцевих видів, що залишилися на місцях їх існування. На основі узагальнення 97 досліджень, було розраховано два показники розміру ефекту за результатами для кількісного визначення змін у біорізноманітті. Ці показники – частка видів, які залишилися на місцях їх існування (FRS), і частка території, що залишилася (FRA) із відповідним та сприятливим кліматом для кожного виду. Обидві способи розраховують відхилення від початкового стану біорізноманіття та разом вказують на збереження біорізноманіття. Очікуване поступове зменшення показників FRS і FRA зі значним зниженням на 14% і 35% виявлено між підвищенням глобальної середньої температури на 1 і 2°C. Прогнозується значний вплив як на ссавців, так і на рослини зі скороченням FRS на 19%.

Відповідь біорізноманіття на зміну клімату суттєво відрізняється серед таксономічних груп і біомів. Для деяких таксономічних груп FRA суттєво знижується за 3°C підвищення температури. Хоча ці оцінки є консервативними, оскільки автори роботи ґрунтуються на припущенні, що види не здатні поширюватися або адаптуватися. Таким чином вже на помірних рівнях підвищення температури (1 – 2 °C) прогнозується значне зменшення первинного біорізноманіття.

Для досліджень, що оцінюють кількість видів, на які впливає підвищення температури, у роботі [148] використовували частку видів, що залишилися на території (FRS). FRS, і FRA є розмірами ефекту порівняно з початковою ситуацією у вибраному дослідженні. Схематичне зображення частки території, що залишилася (FRA) із відповідним та сприятливим кліматом для кожного виду при прогнозованому глобальному підвищенні середньої температури представлено на рис. 3.2.

Розглядається початкова територія з відповідним кліматом – до зміни клімату екосистеми. Результати кількох сценаріїв зміни клімату та періодів часу або різних алгоритмів біокліматичного моделювання (наприклад, узагальнена лінійна модель, узагальнена адитивна модель, моделювання максимальної ентропії), були включені до бази даних дослідження як окремі розміри ефекту.

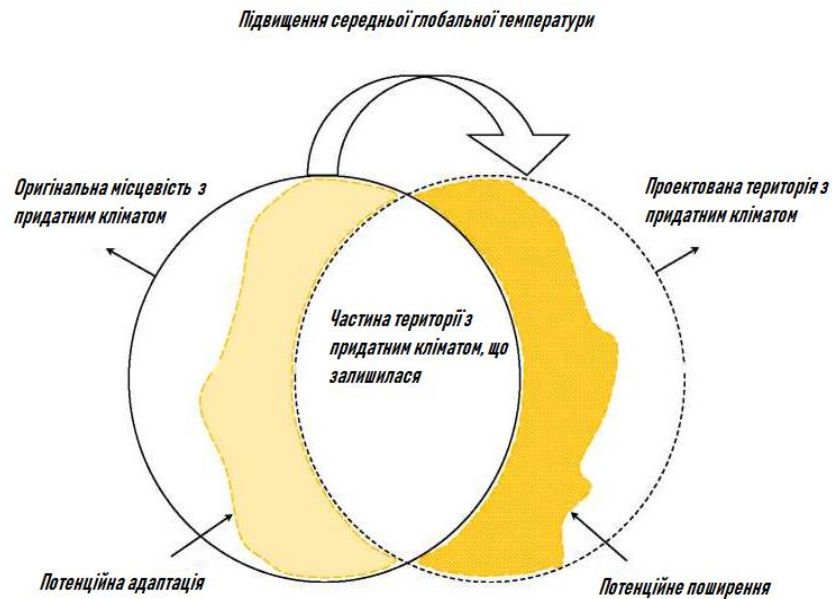


Рисунок 3.2 – Схематичне зображення FRA при прогнозованому глобальному підвищенні середньої температури [148]

Частку біорізноманіття, що залишилась (тобто, консервативний варіант, припускаючи, що види не здатні поширюватися або адаптуватися), було оцінено, виходячи з трьох основних положень [149 – 155]:

(i) в середньому прогнозований розподіл видів у кліматі ближче до прогнозів без поширення, ніж до прогнозів із повним розсіюванням або адаптації;

(ii) зменшується невизначеність, пов'язана зі здатністю видів поширюватися в умовах зміни клімату;

(iii) FRS і FRA вписуються в область моделі GLOBIO, точніше, вони пов'язані з індикатором відносної середньої чисельності видів (MSA) від GLOBIO та індексом цілісності біорізноманіття (BII) місцевого біорізноманіття, що залишилося.

FRS розраховується як середнє співвідношення між кількістю видів, що залишилася, та початковою кількістю видів у кожній місцевості (наприклад, комірці сітки) на карті досліджуваної території після прогнозованої зміни клімату:

$$FRS = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{S_{di}}{S_{oi}} \quad (3.1)$$

де:

S_{di} – очікувана кількість видів, які залишилися в комірці сітки і після зміни клімату, що характеризується глобальним підвищенням середньої температури (°C);

S_{oi} – кількість видів у комірці сітки та у вихідній ситуації;

n – загальна кількість комірок сітки; FRS – відносний індекс між 0 (немає оригінальних видів) і 1 (усі оригінальні види присутні).

FRS зменшується, якщо клімат більше не підходить для виду в одній із комірок сітки в межах досліджуваної території. FRS представляє локальну реакцію видів на зміну клімату (наприклад, у певній клітинці сітки).

FRA розраховується для кожного виду як співвідношення між початковою придатною кліматичною зоною та рештою придатної кліматичної зони:

$$FRA = \frac{1}{S} \cdot \sum_{j=1}^S \frac{A_{dj}}{A_{oj}} \quad (3.2)$$

де:

A_{dj} – придатна кліматична зона, що залишилася для видів j після зміни клімату;

A_{oj} – придатна кліматична зона для видів j у початковій ситуації без зміни клімату;

S – кількість видів.

FRA також є відносним індексом між 0 (початкова придатна кліматична зона відсутня) і 1 (відповідна кліматична зона незмінна).

Було оцінено дисперсії вибірки для обох розмірів ефекту FRS і FRA, щоб визначити значущість, яка буде присвоєна під час мета-аналізу.

На основі відібраних досліджень, що відповідали критеріям (зокрема досліджень, які оцінювали видовий склад видів, які спочатку зустрічалися в

місцях) на рис. 3.3 показано результати систематичного огляду літератури. Вибрані дослідження дозволили розрахувати 370 розмірів ефекту для FRS (дані 60 досліджень) і 146 для FRA (дані 50 досліджень).

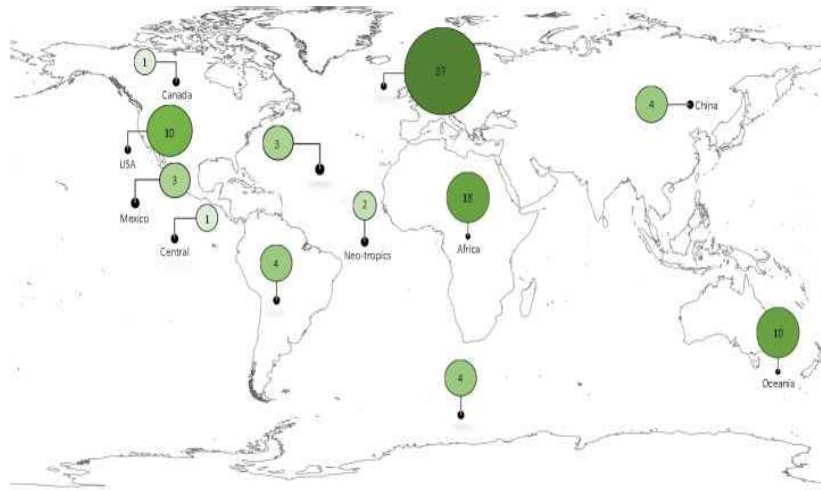


Рисунок 3.3 – Розташування та кількість вибраних біокліматичних досліджень [148]

Типи біокліматичних моделей у вибраних дослідженнях охоплюють у деяких випадках повне поширення кожного досліджуваного виду. Наприклад, ці моделі були отримані для континентального поширення видів або для ендемічних видів. В інших дослідженнях моделі не охоплюють весь діапазон усіх видів, і це, ймовірно, дещо переоцінює вплив зміни клімату.

Мета-аналіз показує подібні результати для нетрансформованих, логіт-перетворених і логарифмічних розмірів ефекту, що свідчить про стійкість цих результатів. У роботі представлено результати \log_{10} -трансформованих FRS і FRA, які є найбільш часто використовуваними перетвореннями.

Результати метарегресії для оцінки змін реакції FRS і FRA на глобальне підвищення середньої температури показали, що розмір ефекту зменшується зі збільшенням кліматичних змін – швидкість зниження, як правило, більша для FRA, ніж для FRS.

Інтервал $1 - 2^{\circ}\text{C}$ для групи всіх видів призводить до FRS 86% і FRA 65%. Ці оцінки означають, що за глобального підвищення середньої температури до 2°C наземні екосистеми можуть втратити в середньому 14% своїх поточних

Відповіді FRS і FRA відрізняються для різних таксономічних груп. Відповіді рослин таксономічної групи нижчі, ніж у хребетних, в усіх інтервалах підвищення температури.

В інтервалі 1 – 2°C частка місцевих первинних видів рослин зменшується на 18%, тоді як частка видів хребетних зменшується на 10%. При більш екстремальному інтервалі підвищення температури (наприклад, 3 – 4°C) придатна кліматична зона для видів рослин скорочується на 53%, а для видів хребетних – на 50%.

Було виявлено, що ссавці демонструють найбільше зниження FRS, яке швидко знижується вище 2°C. На відміну від цього випадку FRS, FRA для птахів зменшується більшою мірою за всіх інтервалів.

Оцінки FRS і FRA також можна використовувати для ранжування біомів, щоб вказати на чутливість до зміни клімату.

Прогнози як FRS, так і FRA в цілому показують постійне зниження. Це вказує на втрату багатства місцевих видів (у середньому на 14% при підвищенні глобальної середньої температури на 2°C) і втрату відповідної кліматичної зони для багатьох видів (в середньому на 35% при підвищенні глобальної середньої температури на 2°C). Ці результати вказують на те, що багато видів будуть знищені на місцевому рівні та зникнуть із територій, де вони зараз зустрічаються. Цей висновок підтверджується іншими дослідженнями і, безсумнівно, поставить під сумнів збереження видів у багатьох місцях [158 – 160]. Однак це не означає, що загальне видове багатство обов'язково зменшиться, оскільки нові види можуть потенційно розширити свій ареал і закріпитися, залежно від їхньої здатності розповсюджуватися, але такі нові види логічно ігноруються в наших розмірах ефекту.

На відміну від миттєвої втрати біорізноманіття, спричиненої деякими некліматичними антропогенними навантаженнями, зміна клімату спричиняє більш поступовий і довгостроковий вплив на види, і таку часову динаміку необхідно враховувати для інтерпретації результатів FRS і FRA. У дослідженні [148] було оцінено наслідки підвищення глобальної середньої температури,

припускаючи, що будь-яке підвищення матеріалізується одночасно, але насправді очікується, що більш високі підвищення температури відбудуться наприкінці цього століття, тоді як підвищення на 2°C можливо вже у 2050 році [104, 161]. Результати роботи підтверджують уявлення про те, що більший вплив зміни клімату відбуватиметься з вищими температурами, проте ці результати не надають доказів того, що кліматична ціль утримання глобальної температури значно нижче 2°C захистить біорізноманіття.

3.5 Методики, що можна застосовувати при оцінці ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату

Оцінка ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату є важливим аспектом адаптації екосистем та збереження біорізноманіття в умовах глобальних кліматичних змін. Різноманітні підходи до оцінки враховують численні екологічні, економічні, соціальні й інші фактори, що дозволяє надавати точні рекомендації щодо збереження природних ресурсів і забезпечення стійкості екосистем. Вони варіюються залежно від конкретних умов, наявних даних і цілей дослідження.

Успішна адаптація та збереження біорізноманіття вимагають комплексного підходу, що об'єднує наукові дослідження, прогнозування кліматичних змін і практичні заходи для збереження екосистем і видів.

Основними підходами до оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату є наступні.

Оцінка вразливості на основі екологічних характеристик

Підхід фокусується на тому, як екосистеми або види реагують на зміни клімату, зокрема:

- стійкість екосистеми – оцінка здатності екосистем до відновлення після впливу кліматичних змін;
- чутливість видів – дослідження того, як зміни температури, рівня води або інших кліматичних факторів впливають на популяції конкретних видів.

- здатність до адаптації – визначення можливості видів адаптуватися до змін у середовищі.

Оцінка ризиків на основі сценаріїв змін клімату

Підхід полягає у створенні сценаріїв зміни клімату (збільшення середньої температури, зміни рівня опадів, підвищення рівня моря тощо) і оцінці впливу цих змін на біорізноманіття і включає в себе:

- прогнозування наслідків кліматичних змін – аналіз змін у погодних умовах та екосистемах за допомогою моделей клімату та біологічних моделей;
- сценарії адаптації – розробка адаптаційних стратегій для збереження видів і екосистем, що піддаються високому ризику.

Інтегрована оцінка екологічних ризиків

Це комплексний підхід, що поєднує оцінку різних екологічних факторів:

- оцінка впливу зміни клімату на екосистеми та види – це можуть бути як прямі, так і непрямі впливи (наприклад, зміни у розповсюдженні видів, зміни в режимах міграції або сезонних циклах);
- використання мультидисциплінарних моделей – для оцінки ризиків і вразливості можна застосовувати комбінацію екологічних, соціальних та економічних моделей.

Оцінка вразливості на основі територіального підходу

Метод орієнтований на вивчення вразливості окремих географічних регіонів і екосистем, а саме:

- аналіз географічного розподілу видів – визначення регіонів, де зміни клімату можуть призвести до найбільших змін в екосистемах, таких як втрати біорізноманіття;
- оцінка потенціалу для переміщення видів – оцінка здатності видів переміщатися або адаптуватися до нових умов через зміни клімату (наприклад, зміна кліматичних зон може спонукати види до міграції на північ або вгору по горах).

Оцінка за допомогою індикаторів та індексів вразливості

Існують різні індекси та індикатори, які дозволяють оцінити ризики для біорізноманіття:

- індекси біорізноманіття – наприклад, індекс Шеннона, який вимірює різноманіття видів в екосистемі;
- індекси вразливості до зміни клімату – такі як індекс уразливості для біорізноманіття, який враховує різні екологічні та кліматичні показники.

Оцінка за допомогою екосистемних послуг

Підхід спрямований на оцінку впливу зміни клімату на екосистемні послуги (очищення води, запилення, захист від ерозії тощо) і включає в себе:

- оцінку економічної вартості екосистемних послуг – врахування зміни вартості екосистемних послуг через зміни в біорізноманітті;
- аналіз регіональних змін у забезпеченні екосистемними послугами – це дозволяє визначити, які саме екосистеми найбільше вразливі до кліматичних змін і які послуги будуть найбільше постраждати.

Методи аналізу вразливості за допомогою ГІС

Використання ГІС для просторового аналізу вразливості біорізноманіття дозволяє:

- моделювати зміни розподілу видів – за допомогою ГІС можна прогнозувати, як зміни клімату можуть вплинути на географічні межі поширення видів;
- картографувати зони ризику – визначати найбільш вразливі території і екосистеми для розробки подальших заходів з адаптації.

Методи експертних оцінок

У разі відсутності точних даних або складних моделей можна використовувати оцінки експертів, які базуються на знаннях про конкретні екосистеми та види.

Вивчення впливу кліматичних змін на біорізноманіття – актуальний напрямок вітчизняних науково-практичних досліджень [162 – 167]. Найбільш докладним документом щодо оцінки ризиків зміни клімату є «Методичні

рекомендації для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату», затвержені Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 03.06.2023 № 386 [168].

В УКРНДІЕП також проводяться дослідження стосовно даної тематики, результати яких відображені у ряді публікацій [169-180], зокрема:

– Методика уніфікованої оцінки рівня екологічної безпеки територій [179, 180];

– Методика розроблення програм спеціального моніторингу акваторій, на яких відбувається значне розмноження інвазійних видів гідробіонтів [181].

Основні положення «Методики розроблення програм спеціального моніторингу акваторій, на яких відбувається значне розмноження інвазійних видів гідробіонтів» [181].

Практика показала, що контроль випадків масового розмноження інвазійних видів в Україні стикається з низкою методологічних та організаційних ускладнень, що унеможлиблювало швидке реагування як на саме явище, так і на екологічні проблеми, які ним спричинені.

Існуюча система державного моніторингу (як поточного, так і фонового та кризового), не має на меті контролю явищ біологічних інвазій і не пристосована для реагування на такі ситуації;

Організації, що займаються проблемами об'єктів ПЗФ в Україні, хоча й ведуть постійні «літописи природи» на підконтрольних об'єктах, також не мають на меті спеціально відслідковувати появу біологічних інвазій і реагувати на них з потрібною оперативністю, та й не забезпечені для цього ані повноваженнями, ані засобами.

Регуляція поведінки з карантинними видами в Україні стосуються лише невеликої частини аспектів цієї доволі комплексної проблеми (перш за все, контролю ввезення чужорідних видів із сільгосппродукцією).

Виходячи з цього, метою методики організації моніторингу інвазійних видів гідробіонтів була загальна регламентація відстеження і прогнозу, в ході

спеціального додаткового моніторингу, біологічних інвазій у поверхневих і морських водах України, на різних стадіях розвитку процесу, від появи чужорідного виду до виникнення масштабної інвазії, появи масових скупчень чужорідних організмів і спричинення інших суттєвих змін стану гідроекосистем.

У методиці розглядаються питання щодо організації спостережень. Задача моніторингу кожного випадку біологічної інвазії поділяється на три напрямки (рис. 3.5):

- моніторинг появи нових видів, що виконує функцію «раннього попередження»;
- моніторинг ситуації у районі появи чужорідного виду та відстеження випадків його масового розвитку;
- моніторинг можливого впливу під час масового розвитку інвазійного виду, великих скупчень гідробіонтів на зміни природних екосистем, якість води, санітарний стан водних об'єктів та водне господарство.

Зазначені фази моніторингу мають бути організовані послідовно й рішення про початок наступної фази моніторингу приймається за інформацією попередньої фази на підставі аналізу обставин перебігу процесу біоінвазії. Проте, якщо на першій фазі моніторингу вже виявлено великі скупчення особин інвазійного виду, для економії часу подальші фази моніторингу можуть проводитися одночасно. Беручи до уваги динамічний і важкопрогнозований характер біоінвазій як таких, програми спостережень мають коригуватися за необхідністю у разі зміни ситуації.

На початкових етапах моніторингу ефективним є залучення громадськості та інших нефахових з екологічних питань організацій.



Рисунок 3.5 – Структура та алгоритм спеціального моніторингу акваторій, на яких відбувається значне розмноження інвазійних видів гідробіонтів

Подальші етапи спеціального моніторингу мають проводитися суб'єктами моніторингу, природно-заповідними установами та фаховими науковими організаціями із застосуванням як стандартних гідробіологічних, гідрохімічних і мікробіологічних методів спостереження, прийнятих на мережі державного моніторингу, так і спеціальних методів, перелік яких має визначатися з огляду на специфіку конкретної біологічної інвазії.

Висновки до розділу 3

1. Зміна клімату впливає на біорізноманіття, оскільки кліматичні зміни значною мірою визначають ареали географічного поширення видів.

2. Основні ризики кліматичних змін для біорізноманіття полягають в тому, що кілька компонентів зміни клімату (концентрація CO₂, температура, опади, динаміка світового океану) впливають на всі рівні біорізноманіття:

- генетичний – зниження генетичної різноманітності популяцій;
- видовий – зменшення видового багатства;
- екосистемний – зміни функціонування середовища існування.

3. Розуміння впливу зміни клімату на біорізноманіття допомагає визначити пріоритети стратегій збереження біорізноманіття. Аналіз досліджень впливу зміни клімату на біорізноманіття загалом свідчить про прямий зв'язок кліматичних змін і втрати біорізноманіття. Це співвідношення є корисним для оцінки відносних несприятливих наслідків різних сценаріїв зміни клімату та підкреслення важливості утримання зміни клімату значно нижче, ніж відмітка у 2°C.

4. Швидка зміна клімату, яка спостерігається з початку XXI століття, тісно пов'язана зі змінами у функціонуванні біосфери. Для пом'якшення наслідків зміни клімату та створення ефективного курсу адаптації необхідно зрозуміти екологічну динаміку кліматичних впливів, визначити гарячі точки вразливості та стійкості, приймати управлінські рішення, які можуть сприяти підвищенню стійкості екосистем до зміни клімату. Водночас важливо враховувати, що стійкі екосистеми та екосистеми з високим рівнем благополуччя також можуть допомогти у пом'якшенні наслідків зміни клімату й адаптації до них.

5. Вивчення впливу кліматичних змін на довкілля, зокрема на біорізноманіття, – актуальний напрямок вітчизняних науково-практичних досліджень, який потребує подальшого розвитку. Найбільш докладним документом щодо оцінки ризиків зміни клімату є «Методичні рекомендації для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату», затверджені Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 03.06.2023 № 386.

6. В УКРНДІЕП розроблено декілька методик («Методика уніфікованої оцінки рівня екологічної безпеки територій, «Методика розроблення програм спеціального моніторингу акваторій, на яких відбувається значне розмноження інвазійних видів гідробіонтів»), які можна використовувати для оцінки ризиків впливу зміни клімату на біорізноманіття.

4 ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНИХ СКЛАДОВИХ І ПОРЯДКУ ОЦІНКИ РИЗИКІВ ТА ВРАЗЛИВОСТІ БІОРІЗНОМАНІТТЯ ДО ЗМІНИ КЛІМАТУ

На зміни різноманіття біологічних видів впливають екологічні фактори, які умовно поділяють за походженням і характером впливу на три групи:

- *абіотичні* – фактори неорганічної або неживої природи;
- *біотичні* – вплив живої природи, а також людини;
- *антропогенні* – обумовлені діяльністю людини: вплив її на природу може бути як стихійним, випадковим, так і свідомим: інтенсивний розвиток промисловості, сільського господарства, а також урбанізація й глобалізація, що збільшуються, є факторами, які значно впливають на клімат і певним чином його формують. Саме антропогенні фактори відіграють головну роль у виникненні парникового ефекту.

Усі зазначені фактори пов'язані між собою. Кліматичні фактори відносяться до *абіотичної групи*.

Найважливішими факторами, пов'язаними зі зміною клімату, які мають вплив на стан, розвиток і різноманіття біологічних систем, є температура довкілля, світло (сонячна енергія, радіація), вода (вологість) та повітря (хімічний і фізичний склад, рух повітря – вітер). Зміна кліматичних умов значно впливає саме на ці фактори, змінюючи їх характеристики.

До кліматичних факторів впливу на живі організми відносять хімічні та фізичні фактори. До хімічних факторів відносять хімічний склад атмосфери, прісних і морських вод, ґрунту тощо. До фізичних факторів – шум, магнітні поля, теплопровідність і теплоємність, радіоактивність, інтенсивність сонячного випромінювання.

До всіх цих кліматичних факторів адаптована більшість рослин і тварин біосфери. Будь-які зміни, відхилення від сталих характеристик негативно впливають на чисельність та різноманітність більшості видів флори й фауни.

Біотична складова є найбільш чутливою до антропогенних впливів і найбільш широко використовується у фауністичних і флористичних

дослідженнях. Для оцінки стану біоти застосовуються структурно-функціональні характеристики, що відображають процеси створення, використання, руйнування і залишкового накопичення в екосистемах біологічної продукції різних категорій (первинної, вторинної, залишкової, мертвої) і деякі етапи кругообігу речовин, залучені у біологічні цикли [1].

4.1. Основні показники оцінки стану біологічного різноманіття

Природне біорізноманіття, яке має різні рівні – від генетичного, у межах виду чи популяції, до різноманіття екосистем і біогеоценозів, – розглядають передусім, спираючись на вид – основну таксономічну одиницю. Різноманіття середовищ існування оцінюють саме з точки зору забезпечення існування видів (місцевих популяцій видів). На практиці генетичне різноманіття у природі звичайно також оцінюють не стільки з позицій генетичного фонду, який може використовуватися людиною у виробництві, скільки для визначення стійкості існування виду. В економіці біологічні ресурси розглядаються також спираючись на поняття виду (промислова цінність певних видів риби і т. ін.).

Головні вимірювання при моніторингу біорізноманіття стосуються видів, а саме – згідно зі схемою Такера (Tucker, 2000) – трьох основних складових біорізноманіття (в абсолютному або відносному вираженні):

а) *видове багатство* (вимірюється в одиницях) – число видів, присутніх на певній території або акваторії (від невеликого місця мешкання до країни чи біогеографічного регіону);

б) *видове різноманіття* – співвідношення числа видів та їх чисельностей;

в) *чисельність* виду, популяції – загальна кількість особин на даній території або у даному об'ємі (води, повітря, ґрунту), для водних екосистем вимірюється у мільйонах (тисячах) клітин у дм^3 (або літрі) води.

До основних показників кількісної оцінки біорізноманіття, які оцінюються у фізичних одиницях, відноситься *біомаса* виду – загальна кількість живої речовини у деякій екосистемі, для гідробіонтів вимірюється у мг на дм^3 (або літр) води; характеризується, крім абсолютних показників, віднесених до одиниці

площі, співвідношенням біомаси різних груп організмів або їх частин.

Біомаса характеризується, крім абсолютних показників, віднесених до одиниці площі, співвідношенням біомаси різних груп організмів або їх частин:

- для рослин (автотрофів) – систематичних, екологічних груп, надземних і підземних частин, асимілюючих та накопичуючих фракцій;
- для гетеротрофів – систематичних, екологічних (трофічних у тому числі) груп; також може відокремлюватися частка мігруючої зоомаси;
- для мікроорганізмів – співвідношення запасів біомаси грибів, бактерій, актиноміцетів. [1]

Втрата біорізноманіття вимірюється показником MSA (середній показник чисельності видів), який був визнаний надійним Конвенцією про біологічне різноманіття.

Всі індекси видового різноманіття засновані на 2 припущеннях: ідентичності особин одного виду і рівноцінності відмінностей видів один від одного [1].

Існує багато індексів видового різноманіття, які оцінюють різноманіття як залежність числа видів від співвідношення їх чисельностей. При цьому при однакових співвідношеннях чисельностей при збільшенні видів різноманіття зростає, а при однаковому числі видів підвищення різноманіття відмічається при більш рівних значеннях чисельності.

Індекси видового різноманіття дозволяють:

- дати оцінку різноманіття;
- виявити фактори, що на нього впливають;
- оцінити й виміряти напрямок змін різноманіття під впливом тих чи інших умов;
- порівняти різноманіття різних місць мешкання;
- виявити границю асоціації видів або угруповання;
- оцінити видове багатство.

Загально визнаним і найбільш поширеним є універсальний інформаційний індекс різноманіття Шеннона (відомий також як індекс Шеннона - Уівера), який запропоновано використовувати для екологічного нормування.

Найчастіше використовується основне вираження індексу Шеннона:

$$Ish = \sum p_j * \log(p_i), \quad (4.1)$$

де:

p – частка i -го виду у вибірці.

Індекс Шеннона для вибірових даних має більш складнішу форму:

$$Ish = [\log(N!/n_1! * n_2! * \dots n_s!)]/N, \quad (4.2)$$

де:

N – число особин у вибірці,

n – чисельність i -го виду у вибірці, що обмежувало використання даної формули раніше, але набуло актуальності з поширенням комп'ютеризації [3].

Для гідробіонтів, зокрема, фіто- і зоопланктону, індекс Шеннона розраховують як за чисельністю (в одиницях біт/екз), так і за біомасою (в одиницях біт/мг), що розширює уявлення про внесок видів у біорізноманіття дослідженої ділянки.

Також загальноприйнятним є *індекс біорізноманіття*, що визначається як відношення *фактичного біорізноманіття* – кількості видів на одиниці території (акваторії) та кількості ендемічних видів на одиниці території – до *середнього біорізноманіття* – середньої кількості видів, характерної для країни.

Для вирішення природоохоронних задач використовують K_y - *коефіцієнт унікальності виду*, який враховує категорію рідкості біологічного виду (табл. 4.1).

При оцінці якості середовища існування загальновідомо поняття *виду-індикатору*, яке застосовується у досить різних значеннях. Наприклад, відповідно до класифікації видів-індикаторів Ровелла (Rowell, 1994, за Tucker, 2000), за метою індикації виділяють:

– екологічні індикатори, які забезпечують інформацією про екологічне

середовище згідно з присутністю та/або чисельністю видів і популяцій;

– оціночні індикатори, що використовуються для визначення цінності території (акваторії) з точки зору охорони природи або якості місця мешкання;

– індикатори виконання – застосовуються для визначення ефективності виконання цілей стратегій, планів дій та проєктів.

Таблиця 4.1– Коефіцієнти унікальності видів (K_y)

Опис категорії рідкості виду	Коефіцієнт K_y
Зниклі види – види, які зникли з певної території, але можливість їх відновлення повністю виключити неможливо	5
Види, які перебувають під загрозою зникнення, – види, чисельність яких на даній території скоротилась до критично низького рівня та (або) місця мешкання яких збереглися на такій незначній площі, що ці види можуть зникнути	4
Рідкісні або малочисельні види, чисельність яких скорочується – види, які за умов подальшої дії на них негативних факторів за короткий строк можуть потрапити до категорії таких, що перебувають під загрозою зникнення	3
Уразливі види – первісно малочисельні види у природних умовах або звичайні у місцях мешкання, що відповідають таким видам, чисельність яких може скоротитися за короткий проміжок часу	2
Види, які відновлюються або можуть бути відновлені – ще нещодавно рідкісні види, чисельність і поширення яких на території почали відновлюватися внаслідок вжитих заходів чи спонтанно	1

У залежності від особливостей умов і задач оцінки використовують також багато інших індикаторів, серед яких: критерій Сімпсона, екологічний та біологічний індекси якості вод, індекси своєрідності угруповань, цілісності та корисності біорізноманіття, інтегральна оцінка біорізноманіття як узагальненого показника негативного впливу стану довкілля на живі організми певного регіону тощо [2, 3].

Оцінка різноманіття за критерієм Сімпсона розраховується за формулою:

$$D = \frac{1}{\sum_{j=1}^n D_j^2}, \quad (4.3)$$

де:

P_j – частка виду j у сумарному різноманітті, яке прийнято за одиницю.

Для проведення даної оцінки можна обмежитися аналізом характерних груп видів, з яких є достовірна інформація, крім того, доцільно визначити часовий крок, порівнюючи 10-річні періоди.

Важливою доказовою базою для прийняття рішень на усіх рівнях є визначення *індикаторів стану біорізноманіття екосистем*. Індикатори допомагають визначити рівні та зміни в якості й кількості компонентів екосистеми, динаміку біорізноманіття. Згідно з ТЕЕВ, екосистемний підхід передбачає залучення не лише раніше поширених методів визначення цінності небагатьох видів і екосистем, а більш широкого кола індикаторів – таких, як різноманіття видів і його стійкість, багатоконпонентні харчові ланцюги, ланцюги кругообігу поживних речовин тощо [4].

GEF і WRI (Monitoring Environmental Progress 1995) запропоновано метод розрахунку *кількісного індикатора* (Іпкк), який характеризує *природний капітал країни*. Цей показник надає приблизну оцінку біологічних ресурсів у натуральній формі, розраховується як добуток *площі природних територій* ($S_{пт}$) та *індексу біорізноманіття* ($I_{біорізн}$):

$$I_{пкк} = S_{пт} \times I_{біорізн}, \quad (4.4)$$

Індекс біорізноманіття визначається як відношення *фактичного біорізноманіття* – кількості видів на одиниці території (акваторії) та кількості ендемічних видів на одиниці території - до *среднього біорізноманіття* – середньої кількості видів, характерній для країни.

Зазначається, що площа кожної зони кожного i -го типу екосистеми (S_i , га) у межах досліджених ділянок визначається експертом згідно з картографічними матеріалами або на місцевості.

Індикаторними показниками оцінки стану флори та фауни є *зменшення*

індексу біорізноманіття, щільність популяції виду-індикатору антропогенного навантаження, які характеризують також ступінь відкритості екосистем – незамкненість біологічного круговороту, оскільки стан екосистем повинен оцінюватися не лише з точки зору їх внутрішньої збалансованості, але й збереження їхньої ролі у глобальних процесах як джерела органічної речовини, вилучення якого призводить до зміни кисневого балансу атмосфери, інтенсивного вивітрювання мінеральної частини ґрунтів та інших процесів. Методи визначення запропонованих показників докладно розглядаються в наукових дослідженнях, у багатьох з яких наводяться кількісні значення цих показників за екосистемами, типовими для тієї чи іншої зони, на які можна орієнтуватися при виборі показників характеристики екосистем.

Щільність популяцій (кількість особин на одиницю об'єму чи площі) видів-індикаторів, зокрема *домінуючих і субдомінуючих видів*, – найважливіший показник стану екосистеми, високочутливий до основних антропогенних факторів. Порівняно високий рівень вивченості окремих популяцій і багаторічні спостереження за динамікою чисельності на природних і антропогенізованих територіях дозволяє підібрати специфічні види-індикатори практично на всі типи антропогенних впливів. У табл. 4.2 представлені характеристики флори й фауни як індикаторів екологічного стану території за показниками зменшення біорізноманіття та щільності популяції виду, а у табл. 4.3 – границі класів для індикаторних показників біорізноманіття наземних екосистем, на які можна орієнтуватися - у певному наближенні – при дослідженні гідроекосистем.

Таблиця 4.2 – Критерії стану рослинності та фауни як індикаторів екологічного стану території (акваторії)

Показники	Стан				
	Благопо-лучний	Задовіль-ний	Посеред-ній	Важкий	Дуже важкий
Зменшення біорізноманіття (за індексом різноманіття Сімпсона), % від норми	<5	5 – 10	11 – 25	26 – 50	>50
Щільність популяції виду – індикатора антропогенного навантаження, %	<(>)10	15	20	50	>(<)50

Інтегральна оцінка біорізноманіття як узагальненого показника негативного впливу стану довкілля на живі організми певного регіону визначаються за формулою:

$$I_{bio} = \max\left\{ I_1 I_2, \frac{I_3 + I_4}{2} \right\}, \quad (4.5)$$

де:

I_1, \dots, I_4 – класи індикаторних показників 1, ... 4 відповідно до їхніх номерів.

Основними даними, необхідними для розрахунку інтегральних оцінок, є показники кількості та якості складових довкілля, які визначаються за результатами спостережень у системі державного моніторингу навколишнього середовища. Крім того, для розрахунків можуть використовуватись дані державної статистичної звітності, офіційні видання, а також рішення органів влади на державному та регіональному рівнях.

Загальні показники біорізноманіття пропонується доповнювати системою індикаторів, які характеризують конкретні регіони, з метою визначення пріоритетів природоохоронної політики, екологічних умов і полегшення контролю.

Також при дослідженні об'єктів оціночних робіт і проведенні розрахунків природні ресурси доцільно диференціювати з урахуванням територіального, біологічного, соціального, історико-культурного та

рекреаційного факторів – виділяти зони та підзони й використовувати класифікацію природних об’єктів залежно від їх господарського, наукового й естетичного значення за трьома категоріями (заповідні території, унікальні природні об’єкти; природні об’єкти, що зазнають помірною антропогенного навантаження; природні об’єкти з сильно переформованими чи штучними антропогенними екосистемами), для кожної з яких розроблені критерії оцінки екологічного стану на базі уявлень про глибокі якісні перебудови екологічних систем під впливом антропогенних факторів.

Таблиця 4.3 – Границі класів для індикаторних показників біорізноманіття

Індикаторні показники	Класи				
	Дуже добрий	Добрий	Задовільний	Погааний	Дуже поганий
Кількість видів вищих рослин, ссавців, птахів і риб, а також тварин у цілому, які існують у певному типовому ландшафті, що відображає структуру земельного фонду певного регіону, у процентах до загальної кількості видів, які існують у даному регіоні	>90	70,1-90,0	50,1-70,0	30,1-50,0	<30,0
Кількість видів вищих рослин, ссавців, птахів і риб, а також тварин у цілому, що знаходяться під загрозою зникнення, у процентах до кількості видів, які охороняються у даному регіоні	<2,0	2,1 – 5,0	5,0 – 10,0	10,0-20,0	>30,0
Лісистість регіону, що визначається як площа лісів та інших лісовкритих земель у процентах до загальної площі суші регіону	>30,0	20,1-30	15,1-20	10,1-15,0	<10,0
Природні території, що охороняється, (природно-заповідний фонд), у процентах до загальної площі суші регіону	>15,0	9,1-15,0	5,1-9,0	2,1-5,0	<2,0

У залежності від мети та умов досліджень і виконання оцінки можна використовувати *додаткові показники біорізноманіття*, які використовуються в останні роки, зокрема:

– Червоний перелік видів, які перебувають під загрозою зникнення (МСОП) – для оцінки глобальних змін у біорізноманітті шляхом визначення статусу збереження основних видів, груп та ризику їх вимирання;

– *Індекси своєрідності угруповань* – для оцінки ролі в угрупованні видів з низькою чисельністю;

– *Індекс цілісності біорізноманіття (BII)* – розраховує вплив комплексу дій на групу організмів, використовуючи відносні зміни у видовому багатстві;

– *Індекс корисності біорізноманіття* – для прогнозування наслідків після зміни характеру землекористування;

– *Індекс екологічних переваг (EBI)* – підсумовує ризик ерозії ґрунту, ризик погіршення якості води та якість середовища;

– *Морський біотичний індекс (BI)* – для визначення реакції донних угруповань на природні й антропогенні зміни якості води;

– *Екологічний інтегративний показник* – вимірює стан і тиск на прибережну зону, а також естуарне середовище шляхом інтеграції знань про фізико-хімічні та біологічні елементи [3].

4.2. Основні біологічні показники для оцінки стану гідробіоценозів

Водну екосистему необхідно розглядати як складову єдиного біогеоценозу з усіма прямими й зворотними зв'язками та у взаємодії всіх його елементів. Вибір шляхів та способів розв'язання проблеми негативних змін в екологічному стані водойм повинен враховувати масштаби та специфіку впливу різних видів антропогенної діяльності, територіальну диференціацію та ступінь стійкості природних угруповань у басейнах окремих річок. Басейн річки варто розглядати як єдину екосистему з певним взаємозв'язком між її компонентами – підсистемами річки, лісу, луків, полів, тому що деградація однієї з них спричиняє погіршення природного стану інших [5].

Під час оцінки рівня антропогенного навантаження на природні комплекси басейну річки велике значення мають заповідні території, оскільки вони меншою мірою деградовані й можуть виступати еталоном природного середовища для об'єктивної оцінки ступеня господарського перетворення ландшафтів [6].

У Водній Рамковій директиві ЄС 2000/60/ЄС [7] визначені основні біологічні показники для оцінки екологічного стану поверхневих вод: перш за все, характеристики фітопланктону, фітобентосу, зообентосу, макрофітів та іхтіофауни, важливе значення мають також результати бактеріологічного аналізу й результати біотестування (табл. 4.4).

Таблиця 4.4 Основні біологічні показники, за якими доцільно здійснювати оцінку екологічного стану поверхневих вод [7]

Ріки й водосховища руслового типу	Озера й водосховища озерного типу	Перехідні води	Прибережні води
Склад і багатство водної флори	Склад, багатство та біомаса фітопланктону	Склад, багатство та біомаса фітопланктону	Склад, багатство та біомаса фітопланктону
Склад і багатство донних безхребетних	Склад і багатство іншої водної флори	Склад і багатство іншої водної флори	Склад і багатство іншої водної флори
Склад, багатство та структура іхтіофауни за віком	Склад і багатство донних безхребетних	Склад і багатство донних безхребетних	Склад і багатство донних безхребетних
	Склад, багатство та структура іхтіофауни за віком	Склад і багатство іхтіофауни	

Практично всі країни – члени ЄС мають свою систему біологічної оцінки якості поверхневих проточних вод, адаптовану до місцевих умов, оскільки на даний час важливою складовою екологічного моніторингу поверхневих вод у багатьох державах світу є біологічний моніторинг. Однак, системи біомоніторингу поверхневих вод різних країн істотно відрізняються через низку

причин: історично сформовану практику, розходження в екологічних, економічних і соціально-політичних умовах, неідентичність систем управління водними ресурсами у різних країнах, специфічні особливості формування якості води в окремих регіонах і т. ін. Відзначені розходження стосуються як організаційних, так і науково-методичних аспектів проведення гідробіологічних спостережень на водних об'єктах.

В Україні державний моніторинг вод є складовою державної системи моніторингу довкілля і здійснюється у порядку, який визначається Кабінетом Міністрів України.

Серед усього різноманіття біологічних оцінок якісного стану водних об'єктів, які використовуються на даний час, виділяють кілька основних груп:

- оцінки, які базуються на системі сапробності;
- оцінки, що характеризують трофічність екосистеми;
- біотичні індекси;
- індекси видового різноманіття;
- індекси порівняння;
- комбіновані оцінки.

У більшості європейських країн використовуються різні біотичні індекси, які базуються, головним чином, на індикаторних властивостях макробезхребетних. В Україні класи якості води визначаються за показниками перифітону, зообентосу, фітопланктону, зоопланктону і бактеріопланктону.

Екологічний індекс якості вод (I_E) розраховується як середньоарифметичне хімічного (I_X) та біологічного (I_B) індексів:

$$I_E = (I_X + I_B) / 2, \quad (4.6)$$

Екологічний індекс якості вод, як і блокові індекси, обчислюється для середніх і для найгірших значень категорій окремо: $I_{E \text{ серед.}}$ та $I_{E \text{ найгір.}}$.

Біологічний індекс якості вод (I_B) визначається на основі узагальнення значень таких блокових індексів:

$$I_{B \text{ серед.}} = (I_{G \text{ серед.}} + I_{M \text{ серед.}} + I_{BX \text{ серед.}} + I_{BT \text{ серед.}}) / N, \quad (4.7)$$

де: $I_{G \text{ серед.}}$ – індекс гідробіологічних показників;

$I_{M\text{серед.}}$ – індекс мікробіологічних показників;

$I_{BX\text{серед.}}$ – індекс показників біохімічних процесів;

$I_{BT\text{серед.}}$ – індекс біотестових показників.

N – загальна кількість блоків біологічних показників, які розглядаються.

Середні значення *групових індексів* розраховуються як середньо-арифметичне значення суми категорій показників, що входять до відповідної групи. Наприклад, індекс гідробіологічних показників ($I_{Г\text{серед.}}$) може визначатися за формулою:

$$I_{Г\text{серед.}} = (K_{У\text{серед.}} + K_{Ф\text{серед.}} + K_{Б\text{Ісеред.}}) / 3, \quad (4.8)$$

де $K_{У\text{серед.}}$ – категорія за структурними показниками біотичних угруповань;

$K_{Ф\text{серед.}}$ – категорія за показниками фітопланктону;

$I_{Б\text{Ісеред.}}$ – категорія за біоіндикаційними оцінками.

Дослідниками даної тематики звертається увага, що використання множинної системи оціночних показників надає можливість вирішення проблеми визначення різних аспектів багатофункціональних елементів природо-ресурсного потенціалу й одночасно створити основу для прийняття управлінських рішень у вигляді встановлення нормативних показників для конкретного природного ресурсу чи об'єкта, що оцінюється.

4.3 Визначення порядку оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату

Залежно від поставлених задач, наявності необхідної інформації, можливості досліджень відповідних показників може бути багато варіантів здійснення оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату. У загальному вигляді оцінка ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату може виконуватись у кілька етапів з використанням основних і додаткових показників:

1. Визначення переліку чинників (індикаторів) впливу, характерних для об'єкта, що досліджується.
2. Збір інформації за визначеними показниками.

3. Дослідження динаміки основних кліматичних факторів, які мають вплив на біорізноманіття, за певний проміжок часу на певній території (акваторії): температури довкілля, світла (інтенсивності сонячного випромінювання), води (вологості, хімічного складу), повітря (хімічного та фізичного складу, руху повітря – вітру).

4. Дослідження динаміки основних і додаткових показників стану біорізноманіття за певний проміжок часу на певній території (акваторії): видового багатства, видового різноманіття, чисельності та біомаси – загальної та окремих видів, співвідношення автохтонних і алохтонних видів, наявності або поширеності інвазійних видів – за допомогою відповідних оціночних показників (індексів, коефіцієнтів, інтегральних показників та ін.) та математичних методів залежно від поставлених завдань.

5. Аналіз результатів досліджень і розрахунків. Висновок щодо оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату на досліджуваній території (акваторії).

6. Розроблення рекомендацій стосовно пом'якшення впливу виявлених кліматичних ризиків і зменшення вразливості біорізноманіття та екосистем, які досліджувались.

7. Моніторинг ефективності впровадження розроблених заходів, необхідне коригування.

Висновки до розділу 4

1. На зміни різноманіття біологічних видів впливають екологічні фактори, які умовно поділяють за походженням і характером впливу на три групи: абіотичні – фактори неорганічної або неживої природи; біотичні – вплив живої природи, а також людини; антропогенні – обумовлені діяльністю людини. Кліматичні фактори відносяться до абіотичної групи.

2. Найважливішими факторами, пов'язаними зі зміною клімату навколишнього середовища, які мають вплив на стан, розвиток і різноманіття біологічних систем, є температура довкілля, світло (сонячна енергія, радіація),

вода (вологість) та повітря (хімічний і фізичний склад, рух повітря). Будь-які зміни (відхилення від сталих характеристик) негативно впливають на чисельність та різноманітність більшості видів флори й фауни.

3. Головні вимірювання при моніторингу біорізноманіття стосуються трьох його основних складових: видове багатство, видове різноманіття, чисельність. До основних показників кількісної оцінки біорізноманіття відноситься біомаса.

4. Існує багато індексів, критеріїв, індикаторів, інтегральних оцінок видового різноманіття. Загальні показники біорізноманіття пропонується доповнювати додатковими у залежності від мети та умов досліджень.

5. Залежно від поставлених задач, наявності необхідної інформації, можливості досліджень відповідних показників може бути багато варіантів здійснення оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату. У загальному вигляді оцінка ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату може виконуватись у кілька етапів з використанням основних і додаткових показників.

5 ОЦІНКА ВПЛИВУ ОРГАНІЧНИХ БІОРОЗКЛАДАЄМИХ ВІДХОДІВ НА ВИНИКНЕННЯ ПАРНИКОВОГО ЕФЕКТУ ТА ВІДПОВІДНИХ ЗМІН ЕКОЛОГІЧНОЇ РІВНОВАГИ У ҐРУНТАХ І ВОДНИХ ОБ'ЄКТАХ

Моделювання кліматичних подій свідчить про різке підвищення температури атмосфери у світі. Нещодавні зміни клімату вже надали широкого впливу на людину та природні системи [1, 2]. Зміна клімату створить коротко- та довгострокові ризики для природних систем, у тому числі водних та земельних ресурсів. У деяких регіонах світ, у тому числі, Україні, стійка кількість підземних вод перебуває під загрозою. Прогнозується, що зміни річкового стоку та пов'язані з ними екстремальні явища вплинуть на прісноводні екосистеми у багатьох вододілах у середньостроковій та довгостроковій перспективі для всіх країн світу [3].

Оскільки ресурси підземних вод перебувають у прямій взаємодії з поверхневими водами, розробка та експлуатація одних з них впливатимуть на інші. Таким чином, для майбутньої водної безпеки потрібне комплексне управління водними ресурсами [4]. За даними Міжурядової групи експертів зі зміни клімату – IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), можливий вплив зміни клімату на кількість та якість водних ресурсів більш серйозний у посушливих та напівзасушливих регіонах порівняно з іншими частинами світу [5].

Вчені всього світу розробляють кліматичні моделі для прогнозування впливу зміни клімату на водні і земельні ресурси. Більшість з них прогнозує подальше зменшення кількості опадів, підвищення середньорічних температур повітря, зменшення водного стоку.

У зв'язку зі зміною клімату відбувається зменшення доступних водних ресурсів, що дуже негативно впливає на вологозабезпечення і родючість ґрунтів [7]. І все це разом ускладнює і погіршує сільськогосподарську діяльність. Вітчизняні науковці [8] розробили прогнозовані моделі, які підтвердили, що в Україні спостерігаються найвищі, серед країн Європи, зростання температури

повітря і, як наслідок, погіршення умов природного вологозабезпечення. Внаслідок, за 30 років, зросли обсяги вилучення води з території, що вплинуло на продуктивність сільськогосподарської врожайності. З іншого боку, відходи, які утворюються у результаті цієї діяльності, впливають на виникнення парникового ефекту. Що вимагає моніторингових досліджень, контролювання і впровадження заходів, які спрямовані на зменшення обсягів парникових викидів.

Суттєвим фактором антропогенного впливу на клімат є органічні відходи, які утворюються у сільському, лісовому господарствах і харчової промисловості. У результаті їх діяльності відбувається зміна газового складу атмосфери внаслідок викидів продуктів згорання органічного палива або гниття та бродіння і утворення газових компонентів, таких як вуглекислий газ (CO_2), оксид азоту (N_2O), метан (CH_4) і фторвуглеводні, гідрофторвуглеводні, перфторвуглеводні та інші сполуки.

Робоча група відкритого складу Генеральної Асамблеї ООН запропонувала одну з цілей (Ціль 12) у сфері сталого розвитку (ЦСР), яка спрямована на забезпечення стійких моделей виробництва та споживання (СМВС) [9]. Відмічено, що споживання та виробництво – основа глобальної економіки. Проте, нераціональні моделі виробництва і споживання, що діють в даний час, призводять до виснаження водних і земельних ресурсів, утворення зайвих продовольчих відходів, високого рівня вуглецевмісних викидів і деградації ключових екосистем. Наслідком виконання цілі щодо впровадження СМВС стане продовження взаємодії між усіма зацікавленими сторонами, що призведе до сприяння у досягненні інших ЦСР, що включають такі галузі, як харчова промисловість, сільське господарство, водопостачання та енергетика, а також сприятиме запобіганню та пом'якшенню наслідків зміни клімату.

Рациональні моделі споживання та виробництва мають на увазі досягнення більших і кращих результатів з найменшими витратами. СМВС означає «використання системного підходу для мінімізації негативного впливу на навколишнє середовище, що включає надмірне використання природних ресурсів, неприпустимі рівні викидів токсичних та забруднюючих речовин і

велику кількість відходів, пов'язаних з виробництвом та споживанням товарів і послуг, необхідних для задоволення основних потреб людини та які мають на увазі поліпшення якості життя. При цьому максимальна ефективність виробленої продукції та послуг протягом усього їх життєвого циклу має бути забезпечена без шкоди для майбутніх поколінь».

Метою впровадження раціональних моделей споживання та виробництва, що мають на увазі досягнення більших і кращих результатів з найменшими витратами, є процес, при якому економічне зростання не залежить від постійно зростаючої потреби у використанні природних ресурсів та погіршення стану навколишнього середовища. Цього можна буде досягти за рахунок скорочення матеріаломісткості та енергоємності поточної господарської діяльності, а також завдяки зменшенню викидів та відходів у процесі видобутку, виробництва, споживання та утилізації. Використання підходу, заснованого на понятті життєвого циклу товарів та послуг, як інструмент для досягнення ЦСР вимагатиме певних дій, щоб вплинути на попит та пропозицію стійкої продукції і уникнути надлишкового навантаження на споживання.

5.1 Показники ризику за кліматичними факторами

Кліматичні ризики – це можливість конкретних, пов'язаних із кліматом наслідків (кліматичних впливів), які можуть вплинути на біосферу в цілому, у тому числі на екосистеми [9].

На зміни щодо різноманіття біологічних видів впливають *екологічні фактори*, які умовно поділяють за походженням і характером впливу на три групи: *абіотичні, біотичні та антропогенні*. До абіотичних відносять фактори неорганічної (неживої) природи; до біотичних – вплив живої природи та людини; антропогенні фактори зумовлені діяльністю людини, вплив її на природу може бути як свідомим, так і стихійним, випадковим. Але всі фактори пов'язані між

собою, й кожен з факторів проявляється лише як результат загальної дії середовища.

До основних абіотичних факторів, що впливають на живі організми, відносяться світло, температура, вода, повітря. Зміна кліматичних умов значно впливає саме на ці фактори, змінюючи їх характеристики.

Підвищення температури на Землі є проявом парникового ефекту в атмосфері. Саме водна пара та вуглекислий газ (діоксид вуглецю) краще за все поглинають інфрачервоне випромінювання [10].

Для рівнинної території України встановлено підвищення температури повітря у Зоні мішаних лісів, Зоні широколистих лісів, Лісостепу на 0,8 – 1,0°C; у Степовій зоні – на 0,5°C. Кожного десятиліття температура підвищувалась на 0,1°C. В останнє десятиріччя XXI ст. по більшості станцій тренд зріс на 0,3°C. Потепління в Україні фіксується майже всіма станціями. Однією з важливих причин сучасного потепління клімату в Європі, у тому числі в Україні, на фоні формування холодних зим, є розпріснення вод Північної Атлантики з відповідною зміною інтенсивності течій системи Гольфстрім. Оцінка температурного режиму XXI ст. в Україні свідчить про значну його аномальність відносно кліматичної норми. У більшості місяців спостерігається позитивна аномалія температури. Це свідчить про активізацію процесу потепління клімату в Україні, особливо у Степовій зоні [11].

Глобальна зміна клімату та збільшення концентрації CO₂ в атмосфері може у майбутньому докорінно змінити структуру біологічних угруповань, сприяючи тим видам, які зможуть адаптуватися до нових умов. Ці зміни стосуються просування птахів і метеликів на північ, зміщення їх на більш ранні терміни весняного розмноження. Оскільки наслідки глобальної зміни клімату обіцяють бути дуже далекосяжними, у майбутньому необхідно уважно стежити за станом і функціонуванням екосистем та кліматом. Фахівці з біології пропонують розробляти заходи щодо створенні нових парків з великими градієнтами висот і організації коридорів міграції у напрямку північ-південь. Іншою стратегією

порятунку може стати переселення рідкісних і зникаючих видів вище в гори [12].

Ризики зміни клімату, пов'язані з прісною водою, значно зростають із збільшенням концентрації парникових газів. За оцінками новітніх досліджень у галузі моделювання, з настанням чергового етапу глобального потепління приблизно 7% населення світу, згідно з прогнозами, позбавляться щонайменше 20% відновлюваних джерел води [13].

В останні десятиріччя більшість водойм забруднюється промисловими, сільськогосподарськими і побутовими відходами, що у глобальних масштабах поступово впливає на клімат і, безперечно, на якісний і кількісний склад гідробіонтів та їх різноманіття. Освоєння й переоблаштування водозборів, транскордонні водні потоки, атмосферні опади, індустриальні, господарські та побутові скиди, неорганізовані стоки з водозбірних територій та ін. викликають глобальні зміни геохімічних циклів елементів у системі «водозбір – водойма». Наразі у галузях і сферах виробництва, споживання, обміну, у тому числі сільському, лісовому господарствах і комунальних підприємствах використовують величезну кількість хімічних речовин, значна частина яких потрапляє у довкілля: ґрунти й водні об'єкти. Так, за оцінкою EPA (United States Environmental Protection Agency), існує більше 5 млн. найменувань токсичних речовин, які використовуються під час господарської діяльності, а потім зі стоками, атмосферними опадами, ґрунтовими водами та ін. як забруднюючі речовини надходять у водні об'єкти (Моисеєнко, 2009).

До забруднюючих речовин, або полютантів, відносяться сполуки, які надходять у довкілля або утворюються в ньому у кількості, що виходить за межі звичайної допустимої наявності – граничних природних коливань або середнього природного фону.

Важливими полютантами, поряд із металами, металоїдами, стійкими органічними сполуками (пестицидами, промисловими синтетичними речовинами, побічними продуктами хімічного синтезу), є природні токсини, органічні забруднення (сапробізація), біогенні елементи.

До природних токсинів відносяться білкові речовини, які є продуктами

життєдіяльності бактерій, грибів, рослин, тварин і здатні при потраплянні до організму інших живих істот викликати їх захворювання або ж загибель.

За класифікацією Г.В. Стадницького та А.І. Радіонова одним з видів інгредієнтного забруднення довкілля є *органічне забруднення*. Джерелами його є:

- побутові стічні води;
- мікробіологічні препарати;
- відходи харчової промисловості;
- відходи сільськогосподарського виробництва;
- відходи лісової та деревопереробної промисловості.

До органічного забруднення (сапробізації) відносять надлишкове надходження й накопичення у водних екосистемах продуктів життєдіяльності та відмерлих решток рослинних і тваринних організмів.

До біогенного забруднення (евтрофікація) відносять надлишкове надходження у водойми біогенних елементів (С, N, P), які не мають прямої токсичної дії на гідробіонтів, але викликають посилений розвиток окремих їх екологічних груп, у результаті чого відбувається розбалансування продукційно-деструкційних процесів у водоймах, порушується екологічна рівновага й розвивається вторинне забруднення водного середовища продуктами життєдіяльності гідробіонтів та їх відмерлими рештками.

Велика кількість поллютантів надходить у поверхневі водні об'єкти зі стічними водами. Очищені стічні води без специфічних токсичних властивостей є токсичними для гідробіонтів. Отруєння відбувається за принципом розвитку загального адаптаційного синдрому на будь-який вплив, що викликає стрес, наприклад, підвищення температурного режиму водного об'єкта або підвищений радіаційний фон, або занадто велика кількість біогенних елементів. Ці фактори порушують сталий режим водного об'єкта, здатні стимулювати чи інгібувати також внутрішньоводоймні процеси.

Стічні води містять високу концентрацію нестійких органічних речовин і продуктів їх анаеробного розпаду. Внаслідок гниття та бродіння у воді накопичуються отруйні гази (частина яких відноситься до парникових) –

сірководень, метан, аміак, а також молочна й оцтова кислоти; різко погіршується кисневий режим, що супроводжується явищами задухи серед гідробіонтів.

У зв'язку зі змінами кліматичних умов спостерігається поліоспонтанне розселення інвазійних видів гідробіонтів (Євтушенко, Дудник, Глебова, 2012), а під впливом антропогенних чинників відбувається неоспонтанне розселення гідробіонтів [14]. Інвазійні види є алохтонами (чужорідними) відносно аборигенних видів (автохтонів), притаманних конкретним водним об'єктам. Основна конкуренція полягає у боротьбі за кормову базу та просторову сукцесію, що негативно впливає на модифікацію трофічних зв'язків і біохімічних циклів представників водних екосистем, викликає хижацтво й поступову зміну біоценозів.

Важливим джерелом парникових газів, з якого вони надходять у атмосферу, є також ґрунти. За сучасними оцінками, лише через зміни землекористування з ґрунту виділяється майже 20% від усієї кількості CO₂, що утворюється внаслідок спалення викопного палива. Якщо брати до уваги вплив різних способів обробки ґрунту й систем застосування добрив і особливо суцільних рубок лісів і розорювання степів – цей відсоток буде значно більшим [15]. Автори відмічають, що в Україні суцільні рубки лісу та розорювання останніх цілинних степів є звичним явищем, яке спричиняє велику шкоду для біорізноманіття і має колосальний дестабілізуючий вплив на вуглецевий баланс наземних екосистем, оскільки викликає ґрунтову емісію CO₂, яка є значним і недооціненим потоком парникового газу в атмосферу. Таким чином, у лісовому господарстві діяльність, яка дуже дестабілізує ґрунтовий резервуар вуглецю, – це суцільні рубки лісу, а у сільському господарстві – розорення цілинних ділянок степів. Вуглекислий газ надходить з ґрунту в атмосферу постійно і залежить від типу лісорослинних умов, типу ґрунту, способу обробки, системи застосування добрив тощо [16].

Зміна клімату впливає на якість сільськогосподарських земель і ґрунти. Підвищена спека й постійні посухи пригнічують розвиток певних представників ґрунтового біоценозу та полегшують життя інших. Наприклад, при підвищених

температурах можливий інтенсивний розвиток патогенного грибка *Pythium ultimum*, що викликає масові неврожаї [17].

5.2 Органічні відходи, що біологічно розкладаються та сприяють парниковому ефекту

Згідно з дослідженнями FAO (Food and Agriculture Organization), біорозкладаємі органічні відходи є одним з головних антропогенних факторів, що впливають на зміну клімату і виникнення парникового ефекту, оскільки на ці відходи припадає 8 % усіх антропогенних викидів парникових газів або 4,4 GtCO₂ екв. Тобто внесок викидів від даного виду відходів у глобальне потепління майже еквівалентний (87%) глобальним викидам автомобільного транспорту [18 – 20].

Органічні відходи, які біологічно розкладаються, дуже негативно впливають на стан довкілля у разі їх розміщення на звалищах і полігонах, а також сприяють зміні клімату.

Комісія Європейських Спільнот (Брюсель, 3.12.2008 COM (2008) 811 фінал) визначила біовідходи як біорозкладні відповідні відходи підприємств харчової промисловості, харчові та кухонні відходи домашніх господарств, ресторанів, підприємств громадського харчування та торгових приміщень, а також садові й паркові відходи («зелені» відходи). Біовідходи – це вологі відходи, що гниють.

Загальне щорічне утворення біовідходів оцінюється у 76,5 – 102 млн. тонн харчових і садових відходів, включених до складу змішаних твердих побутових відходів та до 37 тонн у харчовій промисловості й виробництві напоїв [21]. В Україні за морфологічним складом твердих побутових відходів (ТПВ), які були видалені на звалища, на частку харчових відходів припадає 40% [22].

За даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, викиди парникових газів у 2021 році склали 341,5 млн. т CO₂-еквіваленту, на

62,5% менше від обсягу 1990 року, однак на 7,5% більше відносно 2020 року [19].

За даними Національного кадастру антропогенних викидів із джерел і адсорбції поглинання парникових газів в Україні, інвентаризація охоплює викиди 6 парникових газів прямої дії: діоксиду вуглецю (CO_2), метану (CH_4), закису азоту (N_2O), гідрофторвуглеців (ГФУ), перфторвуглеців (ПФУ), гексафториду сірки (SF_6). Найбільша частка викидів парникових газів припадає на діоксид вуглецю – 74% і метан – 18%; вміст оксид азоту – 6% і фреони – 2% (рис. 5.1) [23].

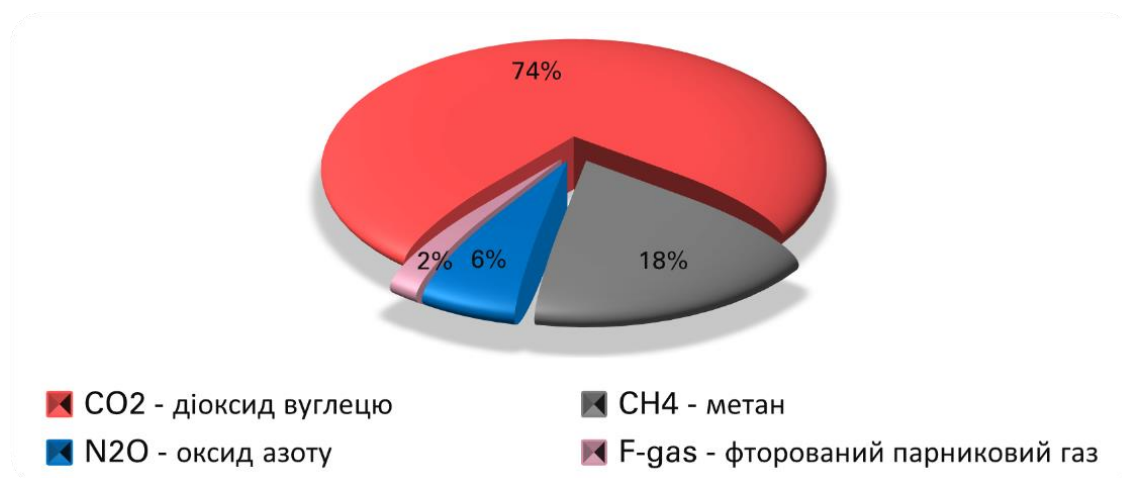


Рис. 5.1 – Відсоткова частка газів у загальних викидах парникових газів

На полігонах і звалищах такі відходи зазнають інтенсивного біологічного розкладання, яке супроводжується виділенням звалищного газу. Під час анаеробного розкладання органічної речовини відходів метаногенними бактеріями відбувається видалення в атмосферу вибухонебезпечного газу метану. Макрокомпонентами звалищного газу є метан (CH_4) і діоксид вуглецю (CO_2), їх співвідношення може змінюватися від 40 – 70% до 30 – 60% відповідно. В якості супутніх компонентів присутні азот (N_2), кисень (O_2), водень (H_2), а також різні органічні сполуки. Склад звалищного газу обумовлює низку його специфічних властивостей. Насамперед, звалищний газ горючий, його середня калорійність складає приблизно 5500 Ккал на м^3 . Також цей газ токсичний за рахунок вмісту певних мікродомішок, наприклад, сірководню (H_2S), і має різкий неприємний запах [24].

Розкладання білкових речовин органічних відходів – складних азотовмісних органічних сполук – відбувається під дією гнильних мікроорганізмів. Бактерії виділяють ендogenousні ферменти, що розкладають білки на поліпептиди й далі на амінокислоти, які у подальших біохімічних процесах зазнають дезамінування або декарбоксилування (рис. 5.2). Під впливом ферментативних комплексів бактерій утворюється багато газів: водень, аміак, сірководень, а також метан і діоксид вуглецю, які відносяться до парникових газів.

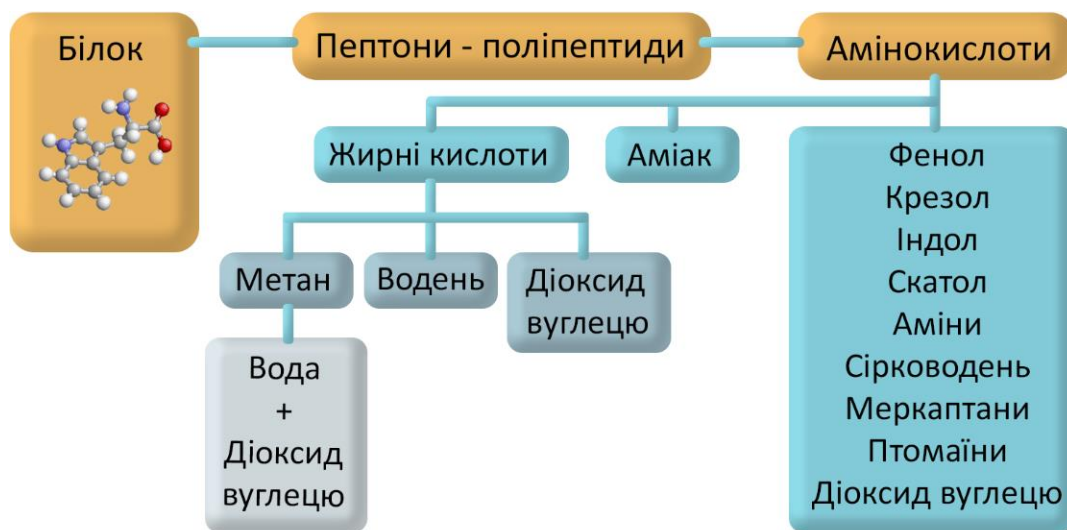


Рис. 5.2 – Загальна схема розкладання білкових сполук гнильними бактеріями

Обсяг вуглекислого газу, що утворюється при захороненні ТПВ, більше обсягу метану у 4 рази, але метан – небезпечний парниковий газ, оскільки викликаний ним парниковий ефект у 25 разів перевищує такий для вуглекислого газу. За даними американських дослідників велике звалище може генерувати до 30 тонн метану на день. При цьому дві третини всіх викидів під час поводження з відходами відносяться до викидів метану від розміщення ТПВ на полігонах і звалищах. Тому поводження з відходами шляхом їх захоронення вважається головною «кліматичною» проблемою.

5.3 Методи скорочення викидів парникових газів, що виникають під час накопичення біовідходів

Викиди парникових газів можна скоротити, якщо заборонити захоронення біовідходів, збирати харчові відходи окремо та створити потужності з перетворення залишків їжі не на технічний ґрунт, а на більш корисну субстанцію.

Дослідниками розроблені різні схеми оцінювання викидів парникових газів від ТПВ під час застосування різних способів поводження з відходами: захоронення, компостування та переробка [25]. На думку дослідників, процес захоронення та компостування органічних відходів має більше викидів порівняно із звичайною практикою захоронення відходів. Як альтернативні методи було запропоновано метод спалювання ТПВ, що може задовольнити певні потреби в електроенергії, які допоможуть покращити показники у галузі енергетики, зміни клімату, скорочення відходів і економічного зростання.

Одним з найперспективніших і чистих методів виробництва енергії може бути виробництво газоподібного водню з відходів [26]. Залежно від енергоефективності, спалювання може розглядатись як рекуперація енергії або як утилізація [27]. Оскільки ефективність спалювання знижується через вологі біовідходи, може бути вигідно видаляти біовідходи з муніципальних відходів. З іншого боку, біовідходи, що спалюються, розглядаються як вуглецево-нейтральне «відновлюване» паливо за змістом Директиви про відновлювану електроенергію [28] та запропонованої Директиви про заохочення використання енергії з відновлюваних джерел (Пропозиція Європейського парламенту і Ради про спільне використання енергії з природних джерел, Брюссель, 2008) [29].

Біологічне оброблення (включаючи компостування й анаеробне зброджування) може бути класифіковано як переробка, якщо компост (чи дігестат) використовується на землі або для виробництва живильних середовищ. Якщо таке використання не передбачено, його слід класифікувати як попередню обробку перед захороненням або спалюванням. Крім того, анаеробне зброджування (отримання біогазу для енергетичних цілей) розглядається як

рекуперация енергії. Компостування є найбільш поширеним методом біологічного оброблення біорозкладаємих відходів [30].

Компост, отриманий з органічної та «зеленої» фракції ТПВ:

- є запасом макро- та мікроелементів, які можуть замінити хімічні добрива;
- є знезараженим від патогенних мікроорганізмів, життєздатних яєць гельмінтів та їх личинок, має властивості щодо пригнічення хвороб рослин [31, 32];

- містить велику концентрацію органічної фракції, а також рухомі форми азоту, фосфору, калію, має добрі фізичні властивості відносно ґрунту, поліпшує його структуру.

Застосування компосту є адекватним з екологічної точки зору, з широким спектром позитивних явищ: таких, як відновлення порушених або виснажених ґрунтів; збагачення ґрунтів мікро- і мікроелементами; біоремедитація небезпечних забруднювачів [33].

Компостування є однією з небагатьох технологій, які можна практично впровадити в будь-якому масштабі: від домашніх умов до великих заводів з переробки побутових відходів.

Одним із способів утилізації метану, який утворюється на звалищах ТПВ, очисних спорудах, нафтогазових об'єктах, є використання газу метанотрофними бактеріями, в результаті чого утворюється живильна біомаса, збагачена білковими сполуками. Американські дослідники використовують таку технологію для отримання корму для тварин. Так, у галузі аквакультури метанотрофні добавки, які містять корисний амінокислотний склад, замінюють муку з риби. Таким чином можна зберегти зникаючі біоресурси (значно знижується вилов риби, яка використовується для отримання кормової муки) [34].

У процесі очищення стічних вод також видаляється велика кількість газів. Виробничі стічні води від підприємств харчової промисловості містять разом зі сполуками азоту та фосфору органічні речовини у великій концентрації. Тому біологічні методи очистки для таких стічних вод є одним із основних можливих,

а в деяких випадках єдиним, методів, які можуть бути практично використані. Але традиційні методи очищення таких складних стоків не дозволяють досягнути ефективних результатів.

На підставі власних експериментальних досліджень з урахуванням світового досвіду, в УКРНДІЕП розроблена ефективна інноваційна технологія видалення сполук азоту зі стічних вод харчової промисловості, які забруднені органічними речовинами, які біологічно розкладаються. Сутність методу полягає в інтенсифікації біохімічного способу деструкції органічних речовин і сполук азоту в стічній воді за допомогою просторової сукцесії іммобілізованих біоценозів, що складаються з мікроорганізмів, адаптованих до аеробних, анаеробних і аноксидних умов існування [35 – 44].

Ці умови створюються в окремих зонах, що входять до складу єдиного блоку біологічного реактора комбінованого типу. Традиційна схема біологічного видалення мінерального азоту зі стічних вод – нітрифікація – денітрифікація – відбувається у три окремі мікробіологічні стадії: окиснення амонію до нітритів (нітрифікація), окиснення нітритів до нітратів (нітратація) і денітрифікація (відновлення нітритів до молекулярного азоту в присутності метанолу). Анаеробно/аноксидне окиснення амонію (анамтох-процес) відбувається в дві стадії: нітрифікація і власне Анамтох-процес.

Поєднання двох протилежних процесів видалення зі стічних вод сполук азоту значно змінює традиційну технологію очищення, а застосування іммобілізованої біоплівки з адаптованих мікроорганізмів у системі очищення стічних вод на різних типах завантажувального матеріалу, в умовах зміни кисневого режиму дозволяє досягнути очищення стічних вод від сполук азоту в одному об'ємі реактору.

В анаеробній/аноксидній зоні біореактору при відсутності (або малій концентрації) органічних речовин, на волокнистому носії формується біоплівка з анаеробних і аеробних хемоавтотрофних бактерій, які трансформують сполуки азоту. У біоплівці створюються умови для анаеробного окиснення амонію, який надходить зі стічними водами та частково окиснюється під час нітрифікації у

зовнішньому шарі біоплівки до нітритів/нітратів. Усі ці форми азоту дифундують у середину біоплівки, де в анаеробних/аноксидних умовах бактерії, імовірно, ANAMMOX-комплексу, здійснюють трансформацію амонію до нейтрального, молекулярного азоту в формі газу.

Ефект видалення сполук азоту складає за: загальним азотом – до 83%, за амонієм – до 98,9%, нітратами – до 99,5%, нітритами – практично повністю (~ 100%), а також значно знижується вміст в очищеній воді органічних забруднень (за БСК₅) – до 98,2% і фосфатів – до 47%.

Також УКРНДІЕП розроблені рекомендації, спрямовані на підвищенні ефективності очищення стічних вод харчових виробництв, що містять великі концентрації тваринних білків, жирів (у тому числі, молочних), вуглеводнів, а також амонійного азоту і фосфатів. Розроблено принципові технологічні схеми очищення стічних вод харчових виробництв, які базуються на ефективних сучасних економічно доцільних методах знешкодження біорозкладаємих сполук в стічних водах. Встановлено, що, при комбінуванні фізико-хімічного способу оброблення стічних вод з біосорбційною очисткою і методом AOPs (Advanced Oxidation Processes), або досконалих процесів окиснення, досягається глибоке очищення стічних вод до показників, досягається глибоке очищення стічних вод до показників, що відповідають нормативним значенням для скиду в поверхневий водний об'єкт або використовувати для технічних потреб підприємства. У результаті такого очищення досягається ефект очищення стічних вод за інтегральним показником забруднення (ХСК) до 98%. За результатами роботи оформлена інтелектуальна власність – Авторське право на службовий твір «Принципова технологічна схема вискоелективного очищення стічних вод харчових підприємств» (заявка від 10 квітня 2023 р. № с202302518. Свідоцтво № 118802).

В очищеній воді концентрації органічних забруднень, амонійного азоту, нітратів, нітритів і фосфатів відповідають нормативним вимогам за Українським законодавством для води поверхневих водних об'єктів і скорочується утворення парникових газів.

5.4 Оцінка впливу органічних біорозкладаємих відходів на біорізноманіття

Щорічно у світі утворюється величезна кількість органічних відходів побутового, промислового та сільськогосподарського походження, які представляють собою вкрай нестабільну і неконтрольовану суміш. У містах утворюється 400 – 450 млн. тонн твердих побутових відходів, причому на одного мешканця в середньому припадає 250 – 700 кг/рік і кількість їх щорічно збільшується на (3 – 6)%.

Вплив харчових відходів на утворення викидів парникових газів

Згідно з даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (Food and Agriculture Organization, FAO), приблизно третина харчових продуктів (за вагою) у світі була втрачена і уявила відходи. За висновками доповіді Програми ООН з довкілля (ЮНЕП) про індекс харчових відходів за 2021 рік, людство щорічно викидає один мільярд тонн продовольства.

За даними дослідників, продукти тваринного походження, особливо червоне м'ясо, молочні продукти зазвичай пов'язані з найвищими викидами парникових газів. Для цих виробництв потрібні великі пасовища, які часто створюються внаслідок вирубування дерев та викиду вуглекислого газу, що зберігається у лісах; також худоба видаляє метан, перетравлюючи траву та рослини; відходи худоби на пасовищах та хімічні добрива, що використовуються для посівів на корм худобі, виділяють закис азоту, який відноситься до ПГ [45 – 47].

За оцінкою FAO впливу харчових відходів на утворення викидів парникових газів і втрат білка, у 2017 році у світі утворилася 1,9 млрд. т харчових відходів, 2,5 млрд. т пов'язаних з ними викидів ПГ та 0,1 млрд. т, пов'язаних з ними втрат білка [48]. Світовий обсяг продовольчих відходів у 2023 р оцінюється в 1,6 млрд. тонн «у первинному продовольчому еквіваленті». Загальний обсяг продовольчих відходів, придатних для споживання, оцінюється в 1,3 млрд. тонн. «Вуглецевий слід» продовольчих відходів за оцінками FAO становить 3,3 млрд. тонн

вуглекислого газу, що дорівнює з щорічними викидами парникових газів в атмосферу.

За даними цих досліджень, викиди парникових газів, пов'язані з транспортуванням, дуже невеликі і становили лише 3% викидів ПГ від загального обсягу первинного виробництва.

Продукти рослинного походження, такі як фрукти та овочі, цільнозернові продукти, квасоля, горох, горіхи та сочевиця, зазвичай вимагають менше енергії, землі та води і мають нижчу інтенсивність викидів парникових газів, ніж продукти тваринного походження, але обсяги утворення їх відходів перевищують обсяги тваринних відходів.

Найбільша частка викидів парникових газів, пов'язаних з відходами тваринного походження, утворюється на етапі споживання м'ясо великої рогатої худоби. Відходи з овочів та фруктів виникають, в основному, на етапах первинного виробництва, зберігання та транспортування. Олійні культури (включаючи соєві боби) є основним джерелом відходів та пов'язаних з ними викидів парникових газів на стадії переробки. вказали, що викиди ПГ на етапі первинного виробництва м'ясних продуктів, включаючи яловичину, баранину, свинину та птицю, становлять від 50 до 90% викидів ПГ за весь життєвий цикл. Для нем'ясних продуктів, включаючи мелені крупи, молочні продукти та різні види фруктів та овочів, відсоткове співвідношення становить від 60% до 85% [48].

Ранжирування основних джерел глобальних викидів парникових газів від харчових відходів за 2017 р. показало, що найбільший внесок у ПГ здійснювали овочі – майже 50% загальної кількості харчових відходів. Невеликий відсоток продовольчих відходів піддається компостуванню, а більша частина гниє на сміттєзвалищах. Викиди метану на звалищах є одним із найбільших джерел викидів парникових газів у секторі відходів. Інші сільськогосподарські викиди, пов'язані зі збиранням, зберіганням та використанням гною, вирощуванням рису, спалюванням рослинних залишків та використанням палива на фермах. Проте, їхній внесок у викиди парникових газів склав 16,8%.

Основні джерела утворення харчових відходів і пов'язаних з ними викидів ПГ надані на рис. 5.3 [48]. До органічних ТПВ, які складають основну масу органічних біорозкладаємих відходів, відносяться «зелені» відходи (залишки фруктів, овочів), проте відходи, які пов'язані з найбільшими викидами ПГ, утворюються з переробленням і споживанням м'ясо великої рогатої худоби. Ці категорії продуктів є важливими, які слід враховувати при скороченні їхніх відходів.

Загалом, етапи первинного виробництва та споживання призвели до вищих рівнів утворення харчових відходів та пов'язаних з ними викидів ПГ, ніж етапи зберігання, обробки та розподілу продуктів харчування. Дослідження показали, що найбільша частка викидів парникових газів, пов'язаних з відходами, що утворилися, припадає на м'ясо великої рогатої худоби. Відходи з овочів та фруктів були помітними на всіх етапах ланцюжка, за винятком переробки. Відходи коренеплодів і бульбоплодів переважно виникали на етапах первинного виробництва, зберігання та транспортування. З іншого боку, відходи з молочних продуктів частіше відбувалися на етапах розподілу продуктів харчування та їх споживання. Олійні культури (включаючи соєві боби) є основним джерелом відходів та пов'язаних з ними викидів парникових газів на стадії переробки.

На етапі переробки утворюється набагато менше органічних відходів та пов'язаних з ним викидів парникових газів у порівнянні з іншими етапами. Щодо харчових продуктів, то дослідження показали, що загальні викиди ПГ від перевезень продуктів харчування незначні порівняно з викидами ПГ, пов'язаними з первинним виробництвом. Це підтверджує ймовірну домінуючу роль первинного виробництва у викидах парникових газів глобальної продовольчої системи. Наприклад, Hamerschlag і Venkat встановили, що викиди парникових газів на етапі первинного виробництва м'ясних продуктів, включаючи яловичину, баранину, свинину та птицю, становлять від 50% до 90% викидів парникових газів протягом усього життєвого циклу [49].



Рисунок 5.3 – Основні джерела викидів ПГ, що утворюються під час переробки харчових продуктів [48]

Для нем'ясних продуктів (мелені крупи, молочні продукти та різні види фруктів та овочів), співвідношення становить від 60% до 85% [50]. В країнах ЄС викиди ПГ на етапі первинного виробництва становлять цілих 93% від викидів ПГ протягом усього життєвого циклу [51]. Що стосується інших продуктів тваринного походження, то відсоткове співвідношення становить 78%, 75%, 64% та 63% для молока, свинини, риби та курки відповідно. У виробництві рослинного походження цей показник складає для томатів, вирощених у теплицях – 86%, для хліба – 60%. Відтворення відходів з молочних продуктів частіше відбувалися на етапах розподілу продуктів харчування та їх споживання. Олійні культури (включаючи соєві боби) є основним джерелом відходів та пов'язаних з ними викидів парникових газів на стадії переробки.

Таким чином, харчові відходи не тільки загострюють проблему продовольчої безпеки, але й мають вагомий антропогенний вплив на утворення викидів ПГ. За даними Springmann et al. скорочення вдвічі втрат харчових

відходів знизить навантаження на довкілля на (6 – 16)% від базових прогнозів. Таким чином, харчові відходи є серйозною проблемою, пов'язаною зі зміною клімату [52].

Утворення парникових газів на звалищах ТПВ від відходів, що біологічно розкладаються

Близько двох третин відходів, що утворюються на звалищах, містять органічні речовини, які піддаються біологічному розкладанню.

Згідно з Директивою Європейського Союзу «Про захоронення відходів (1999/31/ЕС)», відходи, що біологічно розкладаються – це будь-які відходи, які можуть піддаватися анаеробному або аеробному розкладу, у тому числі, такі як відходи харчової промисловості, приготування їжі, садів, парків, харчових продуктів, макулатура (папір та картон). Також біологічному розкладанню піддаються такі компоненти, як відходи сільського господарства (гній, послід, рослинна підстилка для худоби) і осад стічних вод (у тому числі, надлишковий активний мул), який утворюється на комунальних очисних спорудах. Хімічний склад ТПВ значно варіює, але за морфологічним складом основним елементом ТПВ є вуглець органічних речовин, який складає від (32 до 74)% всіх побутових відходів [53].

На рис. 5.4 надана схема впливу біовідходів на виникнення парникового ефекту і відповідні зміни екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах.

Під час біологічного розкладання відходів утворюється звалищний газ, макрокомпонентами якого є метан (CH_4) – (40 – 70)%, діоксид вуглецю (CO_2) – (30 – 60)%, а також супутні компоненти – азот (N_2), кисень (O_2), водень (H_2), сірководень (H_2S). Звалища є основним джерелом антропогенних викидів метану, і на їх частку припадає (3 – 19)% антропогенних викидів метану у світі. Як вуглекислий газ, так і метан затримують теплову енергію в атмосфері та викликають підвищення температури на поверхні Землі та в атмосфері. Потенціал утворення звалищного газу на полігоні залежить від якості та кількості відходів, які на ньому зберігаються [54].

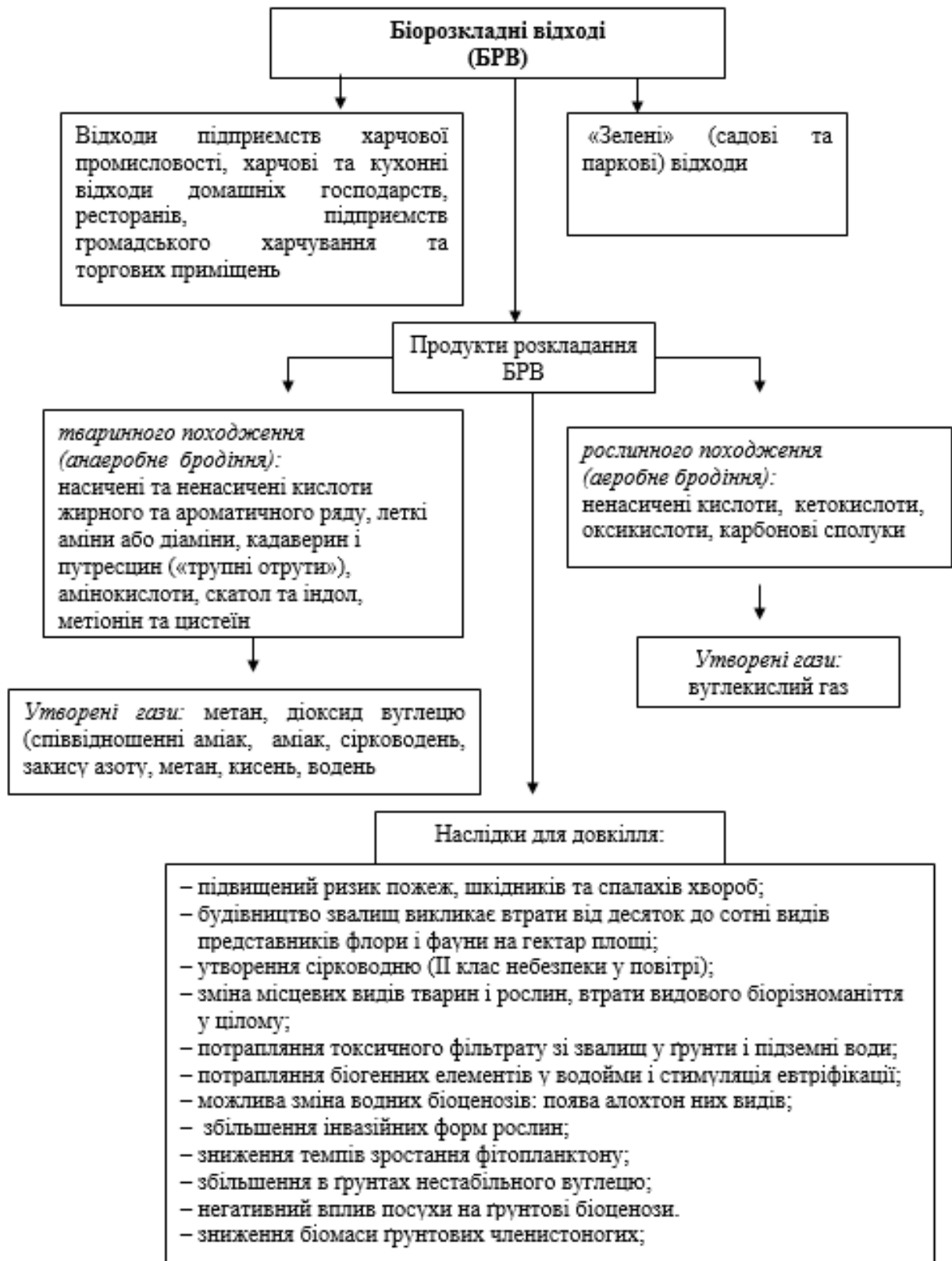


Рисунок 5.4 – Схема розкладання органічних відходів і їхній вплив на довкілля

Гнильні бактерії трансформують білкові речовини органічних відходів. Під впливом їхніх ферментів відбуваються процеси дезамінування або декарбоксілювання білків і поліпептидів. У результаті дезамінування утворюються насичені та ненасичені кислоти жирного та ароматичного ряду, кето- та оксикислоти; у результаті декарбоксілювання амінокислот утворюються леткі аміни або діаміни, що мають нудотний запах. З амінокислоти лізину утворюється кадаверин, з амінокислоти орнітину – путресцин: це «трупні отрути», які викликають отруєння. Розклад амінокислот утворює скатол та індол; розклад сірковмісних амінокислот метіоніну та цистеїну – сірководень; жирні кислоти можуть зброджуватися із виділенням метану.

Через глобальний характер зміни клімату, звалищні гази, що виділяються з полігонів і звалищ, здатні потужно впливати на біорізноманіття. За даними Міністерства навколишнього середовища та лісів Румунії [55], будівництво звалища означає втрату приблизно 30 – 300 видів на гектар. Зміни також відбуваються в місцевих видах, при цьому деякі ссавці та птахи замінюються видами, які харчуються покидьками, такими як шури та ворони. Зміни рослинності також відбуваються незалежно від тривалості існування звалища, оскільки одні види рослин замінюються іншими. Однак через велику різноманітність організмів на землі, важко точно передбачити, як екосистеми, спільноти та окремі види відреагують на підвищення температури, опадів та зміни рівня моря. Так, під час періодів потепління може відбуватися зникнення видів, зміни у складі угруповань та скорочення видового багатства [56]. Звалища завдають шкоди довкіллю і призводять до втрати біорізноманіття наступними способами:

1) Негативний вплив фільтрату. На багатьох звалищах відсутні облицювання та належний дренаж, які повинні попереджувати потрапляння фільтрату в ґрунтові води. Фільтрат утворюється, коли опади, що протікають через відходи, витягують розчинні токсичні речовини разом з ними. Фільтрат може стікати по поверхні землі далеко від звалища і проникати у поверхневі водні об'єкти, що завдає шкоду організмам водних і ґрунтових біоценозів і

довкіллю у цілому. Під впливом фільтратів на фоні підвищення температури спостерігається евтрофікація водних об'єктів, що негативно впливає на фітопланктон, який відповідає за первинну продукцію і продуктивність рибальства. Це має негативні наслідки також для всіх рослин, що оточують звалища;

2) Негативний вплив «звалищних» газів. Через глобальний характер зміни клімату «звалищні» гази, що виділяються з міст захороненні, здатні впливати на біорізноманіття. Однак через велику різноманітність організмів на землі важко точно передбачити, як екосистеми, спільноти та окремі види відреагують на підвищення температури, зміну опадів та рівня моря. Під час періодів потепління може відбуватися зникнення видів, зміни у складі спільнот та скорочення видового багатства. Види будуть витіснені за межі їх температурної толерантності, змушені будуть залишити деградуючі довкілля і піддадуться інтенсивним погодним явищам [57].

Зміна клімату і потрапляння звалищного інфільтрату у водні об'єкти може сприяти інтродукції та поширенню немісцевих інвазійних видів, які колонізують нові території та витісняють аборигенні види, тим самим змінюючи склад спільноти, домінування, та можуть бути причиною зникнення аборигенних видів. Багато інвазійних рослин більш позитивно, ніж місцеві рослини, реагують на збільшення CO₂, азоту і температури, що, ймовірно, підвищує їх конкурентоспроможність в умовах посилення зміни клімату. Вологість органічних відходів викликає інтенсивність процесів кругообігу азоту і вуглецю у ґрунті (*Shaaban et al., 2014; Shurpali et al., 2019; Wang et al., 2022; Чжоу и др.*), у результаті чого, під час гниття збільшується вміст нестабільного вуглецю у ґрунтових системах, і таким чином, збільшуються викиди парникових газів в атмосферу (*Ozlu and Kumar, 2018*).

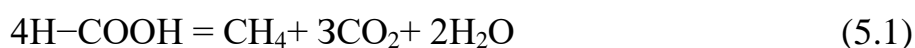
Також, надлишок сполук азоту, що утворюється під час мінералізації органічних відходів, викликає утворення оксиду азоту. При цьому, ці елементи становляться недоступними для вживання рослинами і автохтонними

мікроорганізмами, в результаті формується інший біоценоз, який сприяє гниттю органічних залишків і процесам нітрифікації в ґрунтах.

Зміна клімату під впливом парникових газів може призвести до зниження біомаси ґрунтових членистоногих (за рахунок зменшення їх середнього розміру та щільності тіла), які регулюють мінералізацію органічних залишків і впливають на родючість ґрунтів.

У результаті накопичення відходів, що біологічно розкладаються, в анаеробних умовах на звалищах і полігонах, відбувається метанове бродіння – процес ферментаційного перетворювання органічних сполук на метан і вуглекислий газ під впливом мікроорганізмів.

Метанове бродіння – це непряме окислення органічних речовин в анаеробних умовах. Кінцевим акцептором водню в метановому бродінні найчастіше є вуглекислота, що утворюється під час розпаду складних сполук. Бродіння називається метановим, тому що в результаті розпаду органічних речовин однією з основних кінцевих продуктів є метан:



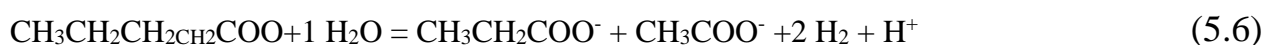
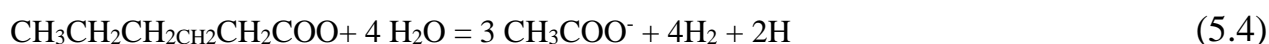
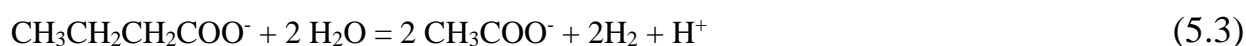
Метанове бродіння відбуватися в мезофільних умовах, коли температура маси осаду, що бродить, складає в межах 20 – 35°C і термофільних умовах при температурі 50 – 55°C. Кожному типу процесу бродіння відповідає специфічна мікрофлора анаеробних організмів – мезофільна чи термофільна.

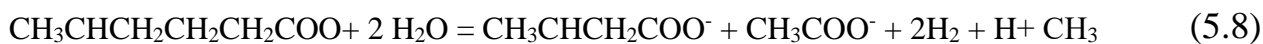
Біохімічні процеси при анаеробному бродінні протікають у дві фази – з утворенням продуктів і кислої та лужної природи. При кислому бродінні забруднення розкладаються до жирних кислот, які у свою чергу розщеплюються до водню, вуглекислого газу, аміаку та ін. Жирні кислоти, що утворилися, розпадаючись, утворюють гази (вуглекислий газ, водень, метан). Жирні кислоти (за винятком однієї оцтової) спершу розкладаються із виділенням вуглекислоти. Потім ця вуглекислота відновлюється до метану за допомогою молекулярного водню. Водночас відбувається окислення водню до води. Гниття (також

метанове бродіння) відбувається без доступу кисню повітря, при якому органічні речовини під дією різних симбіотичних організмів, переходячи через велику кількість проміжних продуктів, розкладаються до метану і вуглекислоти.

Саме метанове бродіння тісно пов'язане з першою фазою, при ньому відбувається розкладання органічних кислот на CO_2 і CH_4 відносно приблизно 1 : 3. У деструкції і трансформації органічних речовин біорозкладаємих відходів беруть участь велика кількість мікроорганізмів. Які належать до різних таксономічних груп. В аеробних умовах відбувається окиснення органічних речовин анаеробними гетеротрофними сапрофітними бактеріями до вуглецю й води.

Метаногенез відбувається в три стадії. Метанове зброджування здійснює низка анаеробних бактерій. Це мезофіли – мікроорганізми, ферментативна активність яких відбувається за температурою $(22 - 44)^\circ\text{C}$ і термофіли – мікроорганізми, ферментативна активність яких відбувається за температурою $(45 - 75)^\circ\text{C}$. Так, ацетогенну фазу розкладання органічних речовин здійснюють мікроорганізми, які утворюють ацетат і водень. До них відносяться бактерії родів *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Clostridium*, *Micrococcus* та ін. який відновлює двоокис вуглецю. Надалі метаногенні бактерії – *Methanococcus*, *Methanobacterium*, *Methanospirillum*, *Methanofrix* і *Methanosarcina*, які у результаті катаболізму (процесу розпаду оцтової кислоти), здатні розкласти ацетат і відновлювати вуглекислий газ воднем і утворювати метан [58]. Перша стадія метаногенезу відбувається за формулами (5.3 – 5.5), друга стадія – за формулами (5.6 – 5.7), третя стадія – за формулами – (5.8).





У результаті утворюється великий обсяг метану, який бере участь в утворенні парникового ефекту.

Світовий досвід показує, що органічні відходи, які біологічно розкладаються, можуть бути джерелами біогазу і органо-мінеральної суміші, яку можна використовувати як добриво і тим знижувати шкідливий вплив цієї фракції ТПВ на довкілля.

В останній час збільшується використання біологічних технологій для обробки органічних відходів. Наприклад, компостування – це процес, який передбачає аеробну біологічну стабілізацію органічних відходів. Існує широкий спектр органічних відходів, які можна використовувати як субстрат для компостування, наприклад, гній, тверді побутові відходи, садово-городні відходи, сільськогосподарські культури залишки, осад стічних вод та інший промисловий осад тощо [59].

Характеристики цих вихідних матеріалів впливатимуть на фізико-хімічні властивості купи і впливають на мікробіологічні процеси, що призводять до утворення парникових газів, їх дифузії та транспортування всередині суміші. За наявності в суміші органічних відходів достатньої кількості біогенних елементів, а також сполук заліза і мікроелементів, ферментативні процеси мікроорганізмів перетворюють відходи у органо-мінеральну суміш, яка здатна виконувати роль добрив. Крім того, під час компостування, зменшується кількість патогенних мікроорганізмів родини *Enterobacter*, у тому числі, бактерій групи кишкової палички і сальмонели. Але у процесі компостування також утворюються продукти метаболізму бактерій у вигляді CH_4 , CO_2 , N_2O , які відносяться до парникових газів.

Тому необхідно використовувати заходи і новітні технології щодо скорочення викидів цих газів в атмосферу. Викиди парникових газів від процесів компостування залежать від типу та складу відходів, використовуваних технологічних систем (статичні та динамічний процеси, відкритих та закритих

систем і остаточного використання компосту). Переваги застосування компосту необхідно оцінювати разом з реальними знаннями про кількість парникових газів, таких як N_2O і CH_4 . Технології компостування можуть бути здійснюватися у відкритих і закритих системах.

У відкритих системах газоподібні викиди під час компостування не збираються та не очищуються. Якщо процес компостування відбувається в закритих системах вихлопні гази зазвичай очищуються і не видаляються у атмосферне повітря. Виробництво газу під час мікробіологічних процесів та видалення їх в атмосферу залежатиме від конкретних умов, умови компостування, таких як температура (до $70^\circ C$), високий вміст органічних речовин, легкодоступні органічні сполуки, концентрація та активність мікробної популяції та обмежена кількість кисню тощо.

Відмічено, що утворення метану зменшується у разі збільшення кисню в системі, проте утворенню великих концентрацій закису азоту сприяє неповна денітрифікація. Викиди парникових газів при компостуванні можна звести до мінімуму за рахунок зміни якості компостованого матеріалу та продуктивності процесу [60]. Високий вміст вологи та висока об'ємна щільність сприяють підвищенню викидів парникових газів. Надлишок води зменшує вільний повітряний простір і створює анаеробні ділянки, де формується метан. Правильний рівень вільного повітряного простору забезпечує належну аерацію компостованого матеріалу як у системах примусової, так і природної аерації і запобігає анаеробіозу. Хімічний склад компостованого матеріалу, особливо співвідношення C/N , також впливає на викиди газів. Біодоступність відходів визначає динаміку вуглецю та азоту вздовж процесу та похідні викиди (*Cayuela et al. 2012*).

Спільне компостування комплементарних відходів для отримання збалансованої вихідної суміші поліпшують пористість суміші та благоприємне співвідношення C/N , що повинно значно знизити викиди парникових газів. В останній час існує багато технологій для очищення викидів від процесів компостування. Вибір найкращих доступних технологій суттєво залежить від

складу та витрати газу, що підлягає обробці. Серед таких технологій хімічне очищення, що поєднує кислотні та лужні скрубери у поєднанні з біологічними.

Такі процеси, як біофільтри, є найбільш поширеними технологіями, що встановлюються на повномасштабних об'єктах. Вони ефективно видаляють такі гази, як аміак, сірководень, але мають низьку ефективність щодо видалення парникових газів. Існують посилення на можливості очищення викидів від компостування у біофільтрах. Останній розглядався кількома авторами та показаний, як ефективна технологія біофільтрації. Наприклад, при біофільтрації біогазу звалищ і після компостних установок або газоподібних викидів з свиноферм, ефективність видалення метану становила від (33 до 100)% (*Нікієма та ін., 2007; Жирар та ін., 2012*).

Існують можливості для мінімізації викидів парникових газів при компостуванні за рахунок зміни або оновлення існуючих об'єктів та підвищення продуктивності технології лікування. Але слід також вивчити ефективність компостування, оскільки ще достатньо не вивчені питання щодо поводження з газами, які утворюються в процесі отримання компосту, в довгостроковій перспективі.

5.5 Зміна клімату та трансформації у ґрунтових екосистемах

Зміна клімату, що проявляється у зміні водного режиму, опосередковано впливає на ґрунти через активність ґрунтових мікробіоценозів. Сільськогосподарські ґрунти є важливим джерелом ПГ: N_2O , CH_4 , CO_2 . У результаті відбувається кругообіг вуглецю (C) та азоту (N). Під час процесів, які пов'язані з повітряним висиханням ґрунту, під впливом мікроорганізмів, відбувається трансформація зв'язаних форм органічної речовини. Внаслідок руйнування ґрунтових зв'язків органічна речовина швидко мінералізується, що може впливати на динаміку вмісту вуглецю та азоту та їх кругообіг. Отже, альтернативні водні режими можуть опосередковано регулювати мікробною активністю ґрунту і в кінцевому підсумку визначати кругообіг вуглецю і азоту.

Режим вологості ґрунту суттєво впливає на обсяг викидів N_2O . При затопленні ґрунтів обсяг викидів N_2O зменшується на 60%. Умови повені, зазвичай, створюють анаеробне середовище в ґрунті, що, відповідно, впливає на біохімічні процеси: обмежує мінералізацію органічного вуглецю та азоту і, таким чином, зменшує кількість субстратів для виробництва N_2O [61]. Обіг вуглецю та азоту у ґрунті має важливу роль у контролі викидів парникових газів. Внесення добрив, особливо органічних та синтетичних, збільшує вміст нестабільного вуглецю та азоту у ґрунтових системах та, таким чином, збільшує викиди ПГ в атмосферу (Озлу та Кумар, 2018).

Динаміка вмісту вуглецю та азоту в ґрунті варіюється в залежності від типу та норми внесення добрив і водного режиму, на який впливає зміна клімату та глобальне потепління через збільшення антропогенних концентрацій парникових газів у атмосфері. Хімічні добрива сприяють утворенню надлишку мінерального азоту, який може призвести до утворення і викидів N_2O . Для зниження викидів парникових газів запропоновані методи, які засновані на застосуванні інгібіторів нітрифікації у сільськогосподарських ґрунтах (Lam et al., 2018) [62]. Інгібітори нітрифікації пригнічують ферментативні процеси бактерій-нітрифікаторів у ґрунті та запобігають процесам окиснення амонію і трансформації його в оксиди азоту.

Зміна водного режиму суттєво впливає на викиди парникових газів. Різниця у викидах ПГ при затопленні і заповненні водою порового простору (WFPS) на 60% залежала від наявності вологи, мінерального азоту, добрив. У разі зміни вологості ґрунту з рівня затоплення до 60% WFPS, викиди CH_4 знижались, але суттєво збільшилися N_2O та CO_2 . Додавання азотних добрив також стимулювало потоки N_2O , CH_4 і CO_2 але їх вплив можна знизити застосуванням інгібіторів.

Антропогенні зміни навколишнього середовища можуть впливати на екологічні спільноти та функції ґрунтових екосистем [63]. Будучи одним з найбільш поширених факторів, зміна клімату сприяє тенденції щодо зниження щільності безхребетних у різних ґрунтових екосистемах (Lister and Garcia, 2018).

Вона також впливає на функціонування та еволюційну адаптацію спільнот – фенотипічні ознаки організмів на популяційному рівні, таких як зрушення в морфології, тобто розмірі та формі тіла (*Hoffmann and Sgrò, 2011, Gardner et al., 2011*).

Зміна режиму опадів призводить до зсувів у структурі (чисельності та різноманітності) популяцій, наприклад, ґрунтових членистоногих мікроартропод, які є важливими регуляторами мінералізації органічних залишків та іммобілізації різних біогенів у різних наземних екосистемах (*Sylvain et al., 2014*). Мета-аналіз показав, що збільшення опадів може порушити спільноти мікроартропод, що призведе до значної втрати умов їх насичення (*Turnbull and Lindo, 2015, Landesman et al., 2011*), і, навпаки, посухи можуть знижувати їх чисельність і морфологію. змінюють ґрунтових тварин (*Andriuzzi et al., 2020*).

Для зниження своїх фізіологічних потреб у відповідь на посуху ґрунтові організми можуть зменшуватись у розмірах та біомасі. Відповідні морфофізіологічні порушення можуть викликати потенційні зміни у функціях екосистеми, таких як розкладання та кругообіг поживних речовин (*Eisenhauer et al., 2012*). Зміна клімату часто пов'язана з потеплінням і зміною кількості опадів (наприклад, від періодів тривалої посухи до екстремальних опадів), що може змінити біоценоз у наземних екосистемах.

Крім зміни клімату, ґрунтові системи серйозно страждають від інтенсифікації землекористування, наприклад, від перетворення пасовищ на орні землі та від інтенсифікації методів управління (*Foley et al., 2011*). До таких практик належать оброблення ґрунту, скошування, випасання худоби, використання важкої техніки, а також внесення гербіцидів, пестицидів та добрив, і все це може серйозно поставити під загрозу ґрунтовим екосистемам і функціям, які вони забезпечують (*Маклафлін і Міно, 1995; Ньюболд та ін., 2015; Ціафулі та ін., 2015*).

У сукупності, зміна клімату та інтенсифікація землекористування можуть призвести до зниження біомаси ґрунтових членистоногих за рахунок зменшення їх середнього розміру та щільності тіла. Наслідки зміни клімату для ґрунтових

угруповань та їх функцій можуть залежати від різних режимів землекористування (Walter et al., 2013). Землі, які інтенсивно використовуються і характеризуються вищим рівнем порушення та нижчим рівнем біорізноманіття, можуть бути більш уразливими до зміни клімату (Isbell et al., 2017); у той час як екстенсивно керовані землі з меншими порушеннями та вищим рівнем біорізноманіття потенційно можуть пом'якшувати негативні наслідки зміни клімату (Oliver et al., 2016).

Вчені Експериментального центру глобальних змін (GCEF) у Центральній Німеччині протестували потенційний інтерактивний вплив клімату та землекористування на розмір тіла, щільність та біомасу ґрунтових безхребетних мікроартропод, які мають важливу роль для родючості ґрунту [63]. Це дослідження спрямоване на моделювання сценарію майбутнього (2070 – 2100 роки), де кліматичні умови відповідали підвищеній температурі довкілля (в порівнянні з потеплінням на $\sim 0,6^{\circ}\text{C}$) та зміненому характеру опадів (скороченню на 20% влітку і збільшенню на 10% навесні та восени, відповідно) у разі п'яти різних режимів землекористування (тобто дві орні землі та три пасовища, що розрізняються за інтенсивністю управління).

Крім того, загальна біомаса деяких інших членистоногих різко знизилася приблизно на 37% при переході від широко використовуваного лука до традиційного сільського господарства.

За результатами дослідження встановлено, що на біомасу ґрунтових мікроартропод виявлено негативний, але значною мірою незалежний вплив зміни клімату та інтенсивного землекористування: зміна клімату зменшила середній розмір тіла мікроартропод (приблизно на 10 – 17%), а інтенсивне землекористування знизило щільність мікроартропод. Зокрема, розмір тіл інших членистоногих (Oribatida, Mesostigmata та Sminthuridae) також значно зменшився відповідно до кліматичного сценарію майбутнього.

Передбачається, що зменшення розмірів тіла є універсальною реакцією тварин на зміну клімату. Це підтверджується екологічними правилами, які стосуються співвідношення температури та розміру. Дані правила стверджують,

що більш теплі умови призведуть до появи організмів з меншим розміром тіла (*Gardner et al., 2011*).

Між екологічними властивостями (наприклад, тривалістю життя, плодючістю та смертністю, а також конкурентними взаємодіями) та розміром тіла є тісний зв'язок і зниження в середньому розмірі тіла призводять до змін у накопиченні біомаси ґрунтових біоценозів і функціонуванні екосистем (*Thakur et al., 2017*). Наприклад, зниження загальної біомаси ґрунтових мікроартроподів може уповільнювати процеси розкладання підстилки та кругообігу поживних речовин, що також може знижувати процеси мінералізації поживних речовин, доступних для рослин поживних речовин та надземної продукції. Таким чином, можна зробити висновки, що зміна клімату, і в першу чергу, парниковий ефект, впливатиме, як на родючість ґрунтів, так і на ґрунтові екосистемі взагалі.

5.6 План проведення оцінки впливу органічних біорозкладних відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах

Оцінка впливу зміни клімату на біорізноманіття і екосистеми повинна базуватися на узагальненні спостереження та прогнозовані зміни, вивченні зв'язків з важливими екосистемними проблемами та послугами (діями) та можливістю управління природними ресурсами.

Сьогодні, за даними Всесвітнього банку, 56% (4,4 млрд.) населення мешкає у міському секторі, а до 2050 р. прогнозується збільшення численності до 70% [64]. Швидка урбанізація впливає на екосистеми і зміну клімату. Людська діяльність, у тому числі, економічний розвиток пов'язані з використанням природного потенціалу екосистем. Це – чисте повітря, вода, виробництво продуктів харчування, культурні та рекреаційні потреби та відношення до біорізноманіття. Проте користування послугами екосистем пов'язано з низкою негативних проявів, наприклад, утворенням твердих побутових відходів (ТПВ), у тому числі, органічних відходів, які мають дуже негативний вплив на довкілля. Неefективне поводження з такими відходами є одна з причин утворення

парникових газів. У разі системного підходу використання послуг екосистем шляхом їх ідентифікування, вимірювання, моделювання та оцінювання позитивних і негативних сторін можна приймати обґрунтовані рішення, встановлювати пріоритети та ефективно планувати і управляти соціальною інфраструктурою для мінімізації шкоди і негативного впливу на зміни клімату і біорізноманіття.

Зміна клімату та некліматичні стреси взаємодіють та впливають на екологічні системи в різних масштабах. Управління природними ресурсами може пом'якшити чи посилити ці впливи на біорізноманіття, екосистеми та їх послуги (рис. 5.5).

Вплив комбінованих факторів на екологічні системи і екологічні послуги відбувається у різних масштабах і варіює залежно від виду або екосистеми.

Представники флори і фауни реагують на зміну клімату змінами у морфології, поведінці, фенології та зрушенням географічного ареалу, і ці зміни опосередковані пластичними та еволюційними реакціями. Реакція видів та популяцій у поєднанні з прямим впливом зміни клімату на екосистеми (ураховуючи більш екстремальні явища) призводить до великих змін у продуктивності, взаємодії видів, уразливості до біологічних інвазій та інших властивостей, що виникають [65]. Тобто знижується різноманіття флори і фауни та рівень екологічних послуг для людини.

Зміни, що спостерігаються на рівні екосистеми у відповідь на зміну клімату, обумовлені прямим впливом кліматичних факторів та реагуванням на рівні видів та популяцій. До основних видів впливу на екосистемному рівні відносяться: зміни первинного виробництва; взаємодія видів, у тому числі, біологічні інвазії; вплив екстремальних явищ на стійкість екосистем.

Важливі способи адаптації організмів до змін у навколишньому середовищі, є зміни поведінки чи морфології. Зміни температури і вологи впливають на поведінкові реакції на рівні популяцій та видів, наприклад, розподілі або скорочення популяції (Beever et al., 2017). До морфологічних змін відносяться зміни розмірів тіла (Cheung et al., 2013; Eastman et al., 2012; Ozgul et

al., 2010). Зміна клімату призводить до розподілу видів, чисельності та реорганізації наземних та водних екосистем (Lenoir and Svenning, 2015; Pacifici et al., 2017; Staudinger et al., 2012): вони впливають на плодючість популяцій (зменшуються види), порушують динаміку популяцій; знижують виживання (Bonamour et al., 2019).

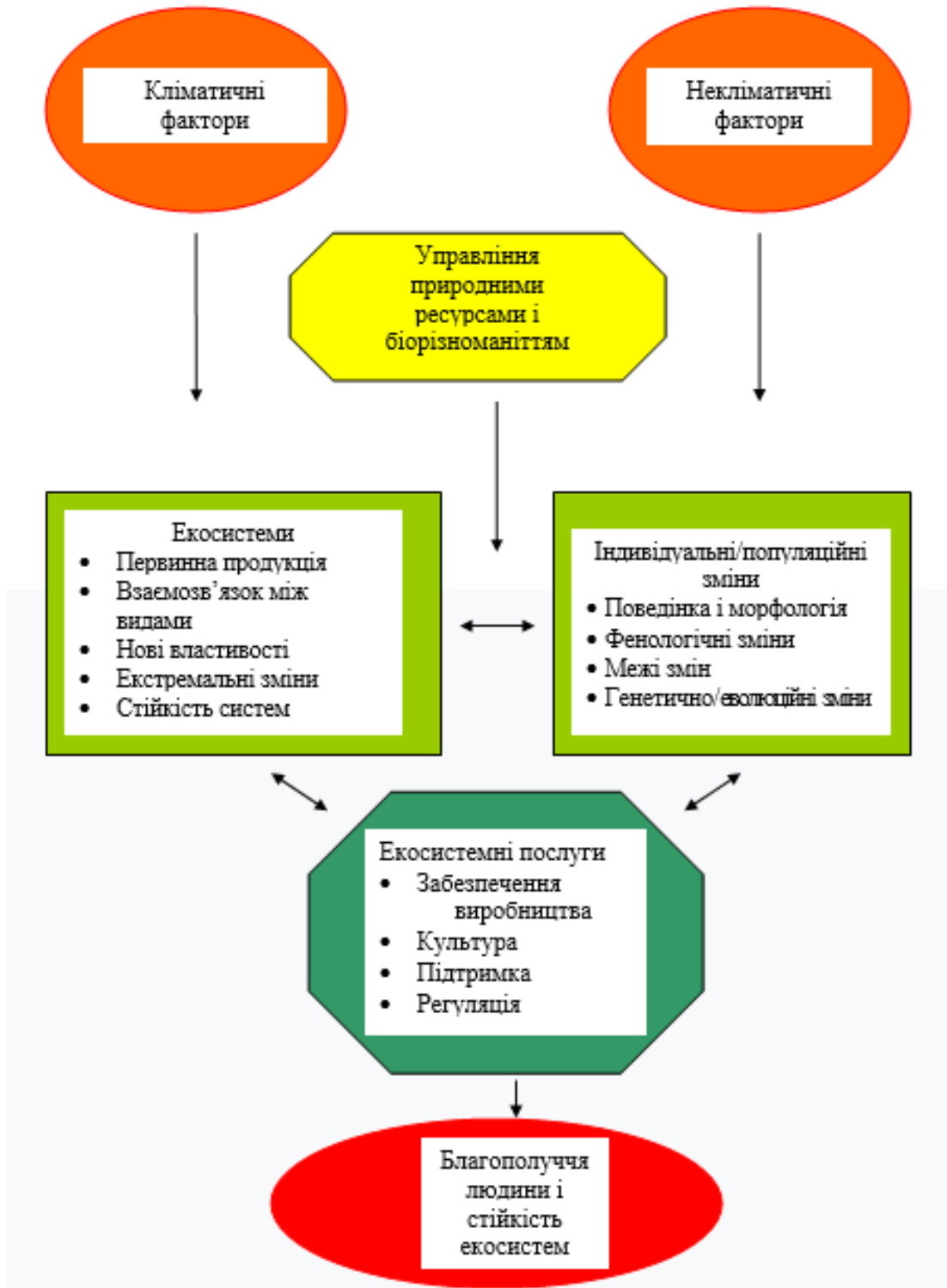


Рисунок 5.5 – Взаємозв'язок кліматичних змін і некліматичних факторів

Проте еволюція, що пов'язана з утворенням сприятливих генетичних варіації (Hendry, 2017) може відбутися за кілька поколінь. При цьому, під час еволюційної адаптації спостерігається висока смертність і винищення популяцій та видів (Bay et al., 2018).

Зміна клімату впливає на первинне виробництво у просторових та тимчасових масштабах (Lipton et al., 2018). Зміни в первинній продукції, ймовірно, будуть посилюватися на більш високих трофічних рівнях (Chust et al., 2014; Lefort et al., 2015; Stock et al., 2014), що призведе до подальших змін у функціях екосистем та потенційно суттєвих змін в усій екосистемі. Однак різні компоненти зміни клімату можуть мати протилежні наслідки для виробництва: підвищений вміст вуглекислого газу в атмосфері прискорює зростання рослинності, проте надлишок або нестача поживних речовин, дефіцит води та забруднення повітря можуть обмежити його зростання (Norby et al., 2010; Oren et al., 2001; Пан та ін., 2009). Потепління та збільшення кількості CO₂ в атмосфері також можуть вплинути на підземні біогеохімічні процеси, такі як кругообіг вуглецю та азоту (Melillo et al., 2017), що може вплинути на наземне первинне виробництво (Campbell et al., 2009).

Якщо під час трансформації органічних біовідходів утворюється вуглекислий газ, то частина його поглинається зеленими рослинами, але збільшення температурних характеристик повітря, у разі зміни клімату, негативно впливає на накопичення і зберігання біогенного елементу вуглецю рослинами і зменшує споживання вуглекислого газу (Oswalt et al., 2014), концентрація якого зростає у довкіллі.

Ті ж види діяльності, які відповідальні за зміну клімату (наприклад, спалювання викопного палива), призводять до збільшення відкладень азоту в його сполук, що значно впливає на наземні та водні екосистеми, у тому числі, в наслідок евтрофікації. У разі неорганізованого розкладання органічних відходів на звалищах, в ґрунті і водні об'єкти може потрапляти поживні речовини, які збагачені сполуками вуглецю, азоту та фосфору. Під впливом підвищення температури поширюються індикаторні бактерії групи кишкової палички, а

також збільшується кількість ціанобактерій, які впливають на поширення «цвітіння» (евтрофікацію) водних об'єктів, що може негативно вплинути на здоров'я людей та тварин (Hilborn and Beasley, 2015). За оцінками дослідників (Sandifer and Sutton-Grier, 2014), до кінця цього століття умови зміни клімату можуть призвести до більш раннього (на два місяці) і більш тривалого (на місяць) цвітіння токсичних водоростей.

Різноманітні біологічні спільноти та екосистеми, що функціонують, мають головне значення для стійкості екосистемних послуг, що підтримують благополуччя людини (Діас та ін., 2019 р.). Управління природними ресурсами впливає на біорізноманіття, екосистеми та їх послуги та може пом'якшити чи посилити зміну клімату та некліматичні стреси. Важлива роль у цьому управлінню належить поводженню з органічними відходами, які біологічно розкладаються.

5.6.1 Збільшення стійкості екосистем

Для пом'ягшення негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття необхідно дотримуватись стратегії, яка збільшить стійкість екосистем і людських спільнот. Стратегія включатиме заходи реагування і поводження під час зміни клімату з метою збереження біорізноманіття, збільшення стійкості екосистем і екосистемних послуг, до яких відносяться впровадження і використання сучасних технологій, інфраструктур, нових підходів до управління [65]. Схема стратегії надана на рис.5.6.

Збільшення стійкості екосистеми і екосистемних послуг. Різноманітні біологічні спільноти та екосистеми, що функціонують, мають значення для підтримки екосистемних послуг, що впливають на благополуччя людини. Таким чином, вплив зміни клімату на види, популяції та екосистеми впливає на доступність та надання екосистемних послуг, включаючи зміни у регулюванні і підтримці культурних послуг.

Біологічне різноманіття екосистем, що функціонують, мають вирішальне значення для підтримки екосистемних послуг, які впливають на благополуччя

людини (Díaz et al., 2019). Таким чином, вплив зміни клімату на види, популяції та екосистеми має значення для доступності та надання екосистемних послуг, які включають і культурні. Культурні послуги – це нематеріальні вигоди, які люди одержують від біорізноманіття та екосистем, такі як культурна самобутність, відпочинок, а також психічне та фізичне здоров'я. Оскільки зміна клімату змінює здатність екосистем забезпечувати можливості для відпочинку та відновлення сил, спільноти відчуватимуть погіршення психічного та фізичного здоров'я та потенційні втрати доходів від природного туризму.

Кліматичні зміни у сфері надання послуг, матеріальних благ, які люди отримують з екосистем та біорізноманіття, можуть мати глибокі наслідки для економіки та добробуту людства. Наприклад, кліматичні впливи на лісові водозбори, включаючи підвищення температури, зміну кількості опадів та снігопадів, а також такі порушення, як лісові пожежі. Зміни у водопостачанні поряд з іншими наслідками зміни клімату можуть змінити сільськогосподарське виробництво. Посухи та інші екстремальні явища знижують врожайність та якість сільськогосподарських культур.

Біорізноманіття та екосистеми мають важливе значення при регулюванні обігу вуглецю, тому що зв'язують його і пом'якшують наслідки екстремальних явищ, підтримують якість ґрунту і повітря та контролюють поширення хвороб. Але через більш високі температури і зменшення вологи. у разі зміни клімату, у лесах і зелених насадженнях відбувається накопичення вуглецю, тому що знижується швидкість поглинання CO₂. Прибережні водно-болотні угіддя є високопродуктивними екосистемами, які зберігають вуглець, а також забезпечують природний захист від ерозії, хвиль, повеней (Аркема та ін., 2013, Ховард та ін., 2017). Але антропогенне забруднення водних об'єктів і прибережних смуг, у тому числі, біоорганічні відходи, призводять до деградації прибережних водно-болотних угідь, а їхня здатність у пом'якшенні клімату зменшується і втрачаються екосистемні послуги.

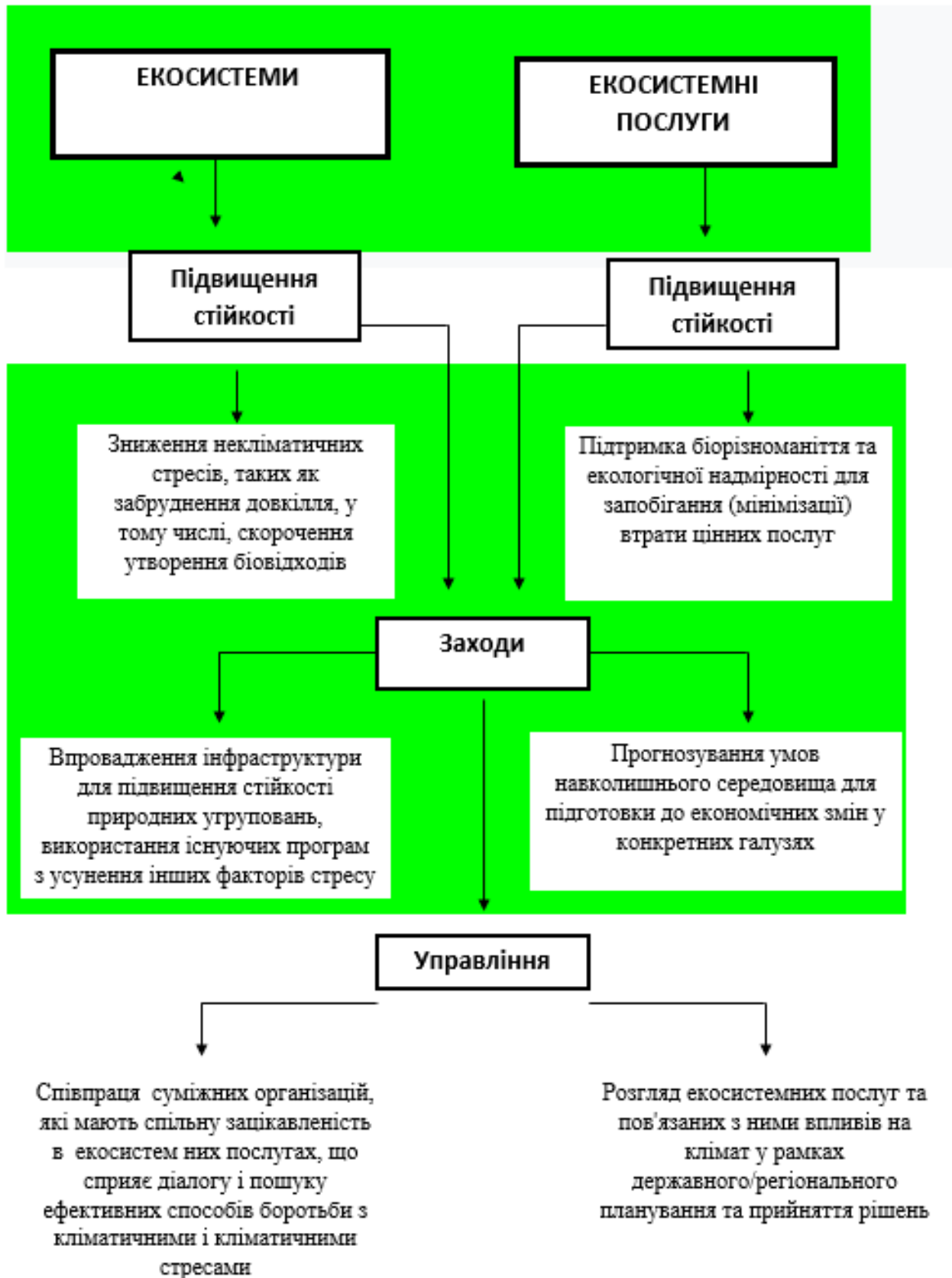


Рисунок 5.6 – Стратегія реагування і управління під час кліматичних змін біорізноманіття, екосистем і екосистемних послуг

Екосистеми також регулюють поширення, чисельність та життєві цикли організмів-переносників хвороб (*Corvalan et al., 2005*). Зміна клімату впливає на здатність екосистем надавати цю послугу в міру зміни ареалу видів, чисельності та умов довкілля. Системи, які деградують під впливом некліматичних стресорів, мають нижчу стійкість, тому відновлення та збереження територій, що підтримують цінні ресурси, мають важливе значення.

Стратегії щодо зменшення інших факторів стресу включають відновлення популяцій та середовищ існування, розширення зв'язків та зниження стресу, викликаного хворобами, забрудненням навколишнього середовища та інвазійними видами, обмеження поширення яких може допомогти зберегти біорізноманіття, функціонування екосистем та стійкість; контроль і регулювання процесів інтродукції біоматеріалу; впровадження технологій, які скорочують обсяги утворення надлишкового активного мулу.

Важливою складовою є стратегія, яка спрямована на зменшення утворення відходів (харчових, зелених), які біологічно розкладаються, і впровадження методів їх утилізації або перероблення.

Заходи. Заходи включають розроблення і впровадження технологій, які спрямовані на зменшення обсягів утворення біорозкладаємих відходів та запобігання викидів парникових газів; впровадження природної інфраструктури для підвищення стійкості природних угруповань, використання існуючих програм з усуненням інших факторів стресу.

Необхідно провести оцінку впливу вивільнених компонентів органічних відходів на виникнення парникового ефекту за всіма складовими циклу їх утворення і поводження з ними.

Це містить наступні етапи: транспортування відходів, вантажно-розвантажувальні роботи, можливість уловлювання газів зі сволок, секветацію (зв'язування) вуглецю у рослинах і ґрунту.

Необхідно надати оцінку методам поводження з відходами цієї категорії, до яких відноситься зберігання на звалищах і альтернативні методи – компостування і зброджування. За даними LCA, у разі застосування цих методів

спостерігається скорочення ПГ на 0,093, 0,048, 0,065 і 0,073 т вуглеводного еквівалента на 1 т органічного відходу під час захоронення, компостування у валках, керованому компостуванні у статичних купах і анаеробного зброджування, відповідно. Відбувається зменшення викидів ПГ у довкілля, найбільший позитивний ефект спостерігається при належному поводженні з відходами у разі захоронення на звалищах. Для обирання методів поводження з біоорганічними відходами необхідно також урахувувати конкретні умови місцевості і об'єкта.

Органічні відходи класифікують як органічні фракції, харчові відходи, органічні побутові відходи, дворові відходи, зелені відходи, овочі. Але у разі порівняння методів оброблення встановлено, що на звалищах спостерігається більш великий рівень викидів ПГ, ніж при компостуванні і анаеробному зброджуванні. Правильне управління технологією захоронення може значно скоротити викиди ПГ.

Щодо управління. Управління природними ресурсами базується на збереженні або відновленні сприятливих умов існування екосистем.

Для ефективного управління створюється інфраструктура і розроблюються основи для управління, які включають: проведення досліджень та надання рекомендацій щодо можливості запровадження комбінованих процесів виробництва тепла або електричної енергії з використанням відходів рослинного походження як сировини; проведення досліджень щодо доцільності створення мережі потужностей для виробництва паперу та інших матеріалів з відходів рослинного походження.

Методи управління повинні бути спрямовані на мінімізації втрат цінних видів і представників екосистем. Для цього потрібні адаптивні та попереджувальні підходи і заходи, які постійно оновлюватимуться, для контролювання наслідків зміни клімату, що виникають або очікуються.

Інструменти для прийняття рішень повинні включати сценарне планування ризиків з подальшим досліджуванням і розробленням плану пріоритетних дій і заходів. Для створення ефективної стратегії адаптації,

необхідно визначити, які види піддаються найбільшого ризику. Одним із способів визначення відносного ризику є проведення оцінок уразливості до зміни клімату, в ході яких вивчають схильність до видів, чутливість та адаптаційну здатність до зміни клімату, а також вплив некліматичних факторів стресу.

5.6.2 Заходи щодо попередження негативного впливу від біорозкладних відходів

Близько двох третин відходів, що утворюються на звалищах, містять біорозкладні органічні речовини з домашніх господарств, підприємств та промисловості. Біовідходи, у тому числі харчові, є серйозною проблемою, пов'язаною зі зміною клімату. Скорочення вдвічі їхніх втрат може знизити навантаження на довкілля на (6 – 16)% від базових прогнозів [70].

Основні способи поводження з відходами – це захоронення, біологічне оброблення і спалювання. Харчові відходи є найбільшим компонентом ТПВ, як у сухому, так і у вологому вигляді, їхня частка складає 51,6% та 69% відповідно. Залежно від складу та вологості біовідходи можна використовувати у якості компосту або біотоплива. Компостування і анаеробне зброджування може бути класифіковано як переробка. Анаеробне зброджування, якщо при цьому отримують біогаз для енергетичних цілей, класифікують, як рекуперація енергії (повернення частини енергії для повторного використання).

Основні варіанти поводження з біорозкладними відходами в ЄС наступні [71]:

- сміттєзвалища не перероблених відходів: неочищені ТПВ вивозяться на звалища;
- спалювання: включає масове спалювання сипких ТПВ без рекуперації енергії, спалювання, піроліз та газифікація палива, отриманого з відходів. Біовідходи, що спалюються, вважають як вуглецево-нейтральне «відновлюване» паливо (Директива ЄС про відновлювану електроенергію [72]);

- механіко-біологічне очищення: ТПВ або залишкові відходи, збагачені гниючими матеріалами, після видалення сухої вторинної сировини піддаються тривалому процесу компостування або зброджування, який перетворює біорозкладні матеріали на інертний, стабілізований залишок (компост). Компост, який не можна використовувати у сільському господарстві або садівництві через його низьку якість, відправляється на звалище. У результаті відбувається значне зниження метаноутворюючого потенціалу компосту на звалищі проти відходів, які не перероблювались;

- компостування: широкий спектр органічних відходів, які можна використовувати як субстрат для компостування – гній, тверді побутові відходи, садово-городні відходи, сільськогосподарські культури залишки, осад стічних вод тощо. Садові та харчові відходи сортуються за джерелами утворення та компостуються, утворюючи стабілізований гумусовий залишок компосту зменшеного обсягу, який має властивості кондиціонера ґрунту чи живильного середовища у сільському господарстві чи садівництві. Процес компостування також пов'язаний з утворенням парникових газів, але змішування біорозкладних фракцій відходів (наприклад, садових і дворових відходів) з ТПВ дозволяє знизити виділення газів за рахунок більш низьких концентрацій сполук вуглецю і азоту. Так, наприклад, під час захоронення ТПВ викиди ПГ складають близько 781,05 кг CO₂-екв. на тонну ТПО, що еквівалентно 2,39 млн. тонн CO₂-екв. на рік. Викиди ПГ від системи компостування (включаючи усі види витрат) складають 768,61 та -12,44 кг CO₂ екв./тонну ТПВ) відповідно, а чисті викиди ПГ склали 696,14 кг CO₂-екв. на тонну ТПВ, що дорівнює 1,66 млн. тонн CO₂-екв. на рік, тобто на 0,73 млн.т CO₂-екв. (у 1,4 рази) менше [73].

Компостування може бути централізованим або домашнім:

- анаеробне бродіння: виробляється компостний залишок із розділених за джерелом гниючих відходів, який може використовуватися у сільському господарстві чи садівництві;

- отримання біогазу: в герметичних ємностях у безповітряних (анаеробних) умовах виробляється біогаз, який збагачений метаном. Біогаз збирається і використовується як паливо для вироблення електроенергії;

- альтернативні методи: метод спалювання ТПВ з утилізацією тепла і «чистий» метод виробництва енергії за рахунок отримання газоподібного водню з відходів.

На підставі аналізу умов утворення біологічно розкладних відходів, визначення їхнього хімічного складу, впливу на складові довкілля розроблено План поводження з органічними біорозкладними відходами (БРВ) (табл. 5.1).

Таблиця 5.1 – План поводження з органічними біорозкладними відходами (БРВ) і оцінювання їхнього впливу на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах

№ з/п	Етапи	Реалізація	Метод рішення
1.	Організація моніторингу щодо утворення БРВ (харчових і «зелених»)	Визначення основних факторів і систематичний збір даних щодо формування БРВ на різних стадіях виробництва, споживання або використання продовольства та іншого біологічного «зеленого» матеріалу	Дослідження і аналіз отриманих даних про втрати під час харчового виробництва і господарської діяльності, які пов'язані з утворенням БРВ
2.	Забезпечення роздільного збирання БРВ	Відокремлення органічних відходів (харчових і «зелених») від ПТВ. Економічне стимулювання роздільного збору відходів	Здійснюється на місці утворення БРВ
3.	Визначення обсягів БРВ, що утворилися	Застосування аналітичних методів контролю	Розрахункові методи
4.	Оцінювання морфологічного і хімічного складу БРВ	Застосування аналітичних методів контролю	Проведення фізико-хімічного аналізу БРВ, у тому числі, визначення парникових газів
5.	Визначення впливу на складові довкілля	Надання потенційної оцінки впливу БРВ на	Проведення газоаналізу повітря, фізико-хімічного і

№ з/п	Етапи	Реалізація	Метод рішення
		повітря, можливий водний об'єкт, ґрунти в зоні впливу, на соціум загалом	мікробіологічного аналізу водного об'єкту, фільтрату і ґрунту у зоні впливу БРВ
6.	Вибір найкращого методу знешкодження/перероблення БРВ	Наукові, аналітичні дослідження щодо трансформації складових БРВ	Визначення еколого-економічного ефекту від методу знешкодження/перероблення БРВ
7.	Прийняття рішення щодо методів знешкодження/перероблення БРВ	Впровадження і реалізація методу. Стимулювання впровадження методів перероблення БРВ	Застосування необхідних умов, пристроїв, установок тощо для ефективного знешкодження/перероблення БРВ

Ефективність впровадження Плану поводження з органічними біорозкладними відходами залежить від:

- створення ефективної інфраструктури і основи для ефективного управління;
- системного аналізу утворення біовідходів (харчових і «зелених»);
- моніторингу їх впливу на структури довкілля, що дозволить знайти ефективні методи їх скорочення і, відповідно, зменшити утворення парникових газів;
- проведення досліджень і надання рекомендацій щодо можливості запровадження комбінованих процесів виробництва тепла та електричної енергії з використанням відходів органічного/рослинного походження як сировини;
- розроблення економічного стимулювання роздільного збору відходів і стимулювання впровадження методів перероблення БРВ (компостування, анаеробного бродіння, отримання біогазу і електроенергії), безпечного захоронення відходів рослинного і тваринного походження сприятиме скороченню утворення парникових газів.

Реалізація Плану відповідатиме європейським директивам 1999/31/ЕС, 2001/77/ЕС, 2008/98/ЕС [72 – 75] і українському законодавству [76, 77] щодо мінімізації утворення парникового ефекту.

Еколого-економічний ефект від ефективного поводження з біорозкладними відходами досягається за рахунок [71]:

– енергії, яка отримана при спалюванні і дозволяє уникнути використання викопного палива в інших енергетичних системах;

– уникнення викидів, пов'язаних із виробництвом матеріалів, отриманих з відходів первинних ресурсів;

– використання компосту дозволяє уникнути викидів, пов'язаних з використанням торфу чи добрива.

– уникнення викидів на звалищах внаслідок переробки цих матеріалів.

У ЄС, у разі переробки органомістящих відходів під час компостування або переробки на звалищах з отриманням біогазу, чистий потік парникових газів в середньому знижується на 260 – 470 кг CO₂ екв/тонну ТПВ. Відволікання гнильних речовин, відходів або папір на компостування або переробку на звалищах, що працюють на середньому по ЄС газі, стандарти управління знижують залежно від того, відноситься негативний потік до вуглецю чи ні.

Суттєві екологічні вигоди пов'язані з використанням компосту для покращення стану органічної речовини ґрунту та більш екологічно безпечних методів вирощування. Завдяки реалізації біогазових установок та програм з управління відходами, значну кількість органічних відходів може бути видалено зі звалищ, тим самим суттєво скоротивши викиди парникових газів.

Висновки до розділу 5

1. Суттєвим фактором антропогенного впливу на клімат є органічні відходи, які утворюються у сільському, лісовому господарствах і харчовій промисловості. У результаті їх утилізації відбувається зміна газового складу атмосфери внаслідок викидів продуктів згорання органічного палива або гниття та бродіння і утворення газових компонентів (вуглекислий газ (CO₂), оксид азоту (N₂O), метан (CH₄), фторвуглеводні, гідрофторвуглеводні, перфторвуглеводні тощо).

2. Фракція органічної речовини твердих побутових відходів, в результаті її розкладання та деградації на полігонах, має вирішальне значення при утворенні «парникових» і «звалищних» газів, які здатні негативно впливати на біорізноманіття. В Україні у морфологічному складі твердих побутових відходів, які видаляються на звалища, частка харчових відходів складає 40%.

3. Найбільшого екологічного ефекту щодо запобігання впливу харчових біорозкладних відходів на довкілля, у тому числі, викидів парникових газів, можна досягти через регулювання процесів, пов'язаних з їх утворенням, транспортуванням, мінімізацію втрат продукції, оптимізацію відповідних виробництв, а також на етапі споживання (домашні господарства, заклади харчування тощо).

4. До найбільш поширених методів скорочення викидів парникових газів, які виникають від накопичення біовідходів, відносяться захоронення на полігонах і звалищах (майже 95%) та переробка (компостування й анаеробне зброджування). До альтернативних методів відносяться метод спалювання ТПВ з утилізацією тепла і «чистий» метод виробництва енергії за рахунок виробництва газоподібного водню з відходів. Компостування й анаеробне зброджування – найбільш доступні та перспективні методи утилізації харчових і «зелених» органічних відходів. Значна кількість органічних відходів може бути видалена зі звалищ завдяки використанню біогазових установок та програм з управління відходами, що суттєво сприятиме скороченню викидів парникових газів.

5. В УКРНДІЕП розроблена технологія очищення стічних вод харчової промисловості, заснована на використанні специфічних біоценозів, що в умовах різних кисневих режимів утилізують органічні речовини й сполуки, які містять азот з утворенням інертного молекулярного азоту, при чому скорочується видалення метану.

6. План поводження з органічними біорозкладними відходами (БРВ) і оцінювання їхнього впливу на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах включає в себе:

- організацію моніторингу щодо утворення БРВ (харчових і «зелених»);
- забезпечення роздільного збирання БРВ;
- визначення обсягів БРВ, що утворилися;
- оцінювання морфологічного і хімічного складу БРВ;
- визначення впливу на складові довкілля;
- вибір найкращого методу знешкодження / перероблення БРВ;
- прийняття рішення щодо методів знешкодження / перероблення БРВ.

6. Ефективність впровадження Плану поводження з органічними відходами, що біологічно розкладаються, залежить від:

- створення інфраструктури і основи для ефективного управління;
- системного аналізу утворення біовідходів (харчових і «зелених») і моніторингу їх впливу на структури довкілля, що дозволить знайти ефективні методи їх скорочення і, відповідно, зменшити утворення парникових газів;
- проведення досліджень і надання рекомендацій щодо можливості запровадження комбінованих процесів виробництва тепла та електричної енергії з використанням відходів органічного/рослинного походження як сировини;
- економічного стимулювання роздільного збору відходів і стимулювання впровадження методів перероблення біорозкладних (компостування, анаеробне бродіння, отримання біогазу і електроенергії), безпечного захоронення відходів рослинного та тваринного походження сприятиме скороченню утворення парникових газів.

7. Еколого-економічні переваги при ефективному поводженні з біорозкладними відходами досягаються за рахунок:

- уникнення викидів, які утворюються під час виробництва матеріалів, отриманих з відходів первинних ресурсів;
- використання компосту, що дозволить уникнути викидів, пов'язаних з використанням торфу чи іншого органічного добрива;
- енергії, яка отримана при спалюванні, що дозволить уникнути використання викопного палива в інших енергетичних системах;
- уникнення викидів на звалищах внаслідок переробки цих матеріалів.

6 РЕКОМЕНДАЦІЇ ЩОДО ЗНИЖЕННЯ НЕГАТИВНОГО ВПЛИВУ ЗМІНИ КЛІМАТУ НА БІОРІЗНОМАНІТТЯ

Зміна клімату має значний вплив на біорізноманіття, призводячи до змін в екосистемах, втрати середовищ існування, зміщення ареалів видів, посилення екологічних стресів та зниження стійкості екосистем.

Одна з основних стратегій боротьби з впливом зміни клімату на біорізноманіття та екосистеми – це збереження природних областей і створення заповідних територій, які дозволяють зберегти різноманіття видів, забезпечуючи їм безпечне просторове середовище.

Ключовими рекомендаціями щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття є наступні.

Збереження та відновлення природних середовищ існування

- *Захист і відновлення екосистем:* збереження і відновлення природних середовищ, таких як ліси, болота, прибережні зони, луки та інші важливі екосистеми – допомагає зберігати біорізноманіття, забезпечує екорегуляцію та зменшує кількість викидів парникових газів.

- *Створення та розширення природоохоронних територій:* збільшення площ національних та регіональних ландшафтних парків, заповідників, заказників та інших охоронюваних територій допоможе захистити види та екосистеми від антропогенного впливу та зміни клімату.

- *Відновлення деградованих екосистем:* рекультивация та відновлення екосистем, що постраждали від антропогенного впливу, з метою збільшення їх здатності адаптуватися до зміни клімату та підтримки біологічної різноманітності.

- *Реалізація планів з відновлення екосистем:* збільшення площ природних екосистем та збалансування ландшафтів.

- *Відновлення територій, що постраждали внаслідок військової агресії:* розмінування, висадка лісових насаджень, очищення водного середовища, земельних ресурсів тощо.

Збереження видів через охорону природних популяцій

- *Репродуктивні програми для зниклих видів:* створення умов для відновлення популяцій, що знаходяться під загрозою зникнення, через розведення в неволі або інші спеціалізовані програми (будівництво реабілітаційних центрів, розвиток аквакультури, зариблення тощо).

- *Моніторинг популяцій видів:* регулярний моніторинг стану популяцій видів, особливо тих, що знаходяться під загрозою зміни клімату, дозволяє вчасно виявити зміни та коригувати охоронні заходи.

- *Контроль за інвазійними видами:* управління та мінімізація впливу інвазійних видів, які можуть посилити наслідки зміни клімату та загрожують місцевим екосистемам та видам.

- *Контроль за надмірною експлуатацією видів:* суворе покарання за незаконний промисел, браконьєрство, знищення особин непромислових видів.

Використання принципу адаптації на рівні екосистем

- *Адаптація екосистем:* підтримка екосистем, які мають високий потенціал для адаптації до зміни клімату та здатні знижувати вплив кліматичних змін.

- *Стійке управління природними ресурсами:* використання методів сталого землеробства, лісівництва, водозабору, які зберігають природну різноманітність і адаптуються до зміни клімату.

- *Стимулювання адаптації екосистем:* застосування заходів, які допоможуть екосистемам адаптуватися до зміни клімату, (реалізація національних програм спостережень і вивчення зміни клімату, боротьби з деградацією земель та опустелюванням, підвищення лісистості, відновлення та сталого використання торфовищ, створення екологічних коридорів для міграції видів та збереження місць проживання, створення нових парків з великими градієнтами висот, переселення рідкісних і зникаючих видів вище в гори).

- *Запровадження екосистемних послуг:* оподаткування (податкові стимули), ліцензування, субсидування, запровадження стандартів, технологій,

посилення вимог до об'єктів критичної інфраструктури, фінансування науково-технічних робіт.

Управління водними ресурсами та захист водних екосистем

- *Охорона водних екосистем*: підтримка заходів з охорони водних екосистем і зменшення забруднення морів та прісноводних басейнів річок можуть значно покращити їх стійкість до зміни клімату та відіграє ключову роль у підтримці біорізноманіття та вуглецевого балансу.

- *Стійке управління водними ресурсами*: впровадження методів управління водними ресурсами, які враховують зміни клімату та захищають екосистеми водойм від забруднень та надмірного використання.

Використання сталих методів землекористування

- *Агролісівництво та сталий землеробний комплекс*: впровадження технологій, які поєднують землеробство та лісівництво, дозволяють зберігати біорізноманіття, знижувати викиди парникових газів та підвищувати стійкість агросистем до зміни клімату.

- *Збереження ґрунтів і водних ресурсів*: впровадження методів, що зменшують ерозію ґрунтів, деградацію екосистем, підвищують водоутримуючі властивості ґрунтів та зберігають біорізноманіття на землях сільськогосподарського використання.

Моніторинг та оцінка впливу

- *Регулярний моніторинг екосистем*: система моніторингу, яка відстежує стан біорізноманіття та зміни в екосистемах на сучасному рівні, допомагає у виявленні вразливих видів та адаптації стратегій управління.

- *Адаптація стратегій на основі даних*: постійне оновлення та коригування охоронних стратегій залежно від змін у кліматичних та екологічних умовах.

- *Контроль рівню забруднення довкілля*: безперервні довгострокові спостереження, оцінки і прогноз змін стану природного середовища з метою виявлення негативних змін щодо впливу на біорізноманіття (погіршення якості

середовища існування, зниження чисельності кормових видів, чисельності виду, репродуктивної активності тощо).

Зменшення викидів парникових газів

- *Зменшення викидів CO₂*: вжиття заходів щодо скорочення викидів парникових газів, в тому числі перехід на відновлювані джерела енергії, покращення енергоефективності та підтримка «вуглецево-нейтральних» технологій, зменшення споживання ресурсів, впровадження біологічних методів очистки стічних вод.

- *Захоплення і зберігання вуглецю*: впровадження технологій з вловлювання і зберігання вуглецю (CCS) та інших заходів для зменшення концентрації CO₂ в атмосфері.

- *Використання природних рішень*: застосування природних методів, таких як відновлення лісів, боліт для поглинання вуглецю та підтримки екосистемних послуг.

- *Вдосконалення державної політики у сфері зміни клімату*: поступовий перехід до низьковуглецевого розвитку, відмова від викопного палива та великої централізованої інфраструктури до розподілених енергетичних ресурсів відновлюваних джерел і систем накопичення й зберігання енергії, контролювання утворення біоорганічних відходів.

Інтеграція збереження біорізноманіття в політику зміни клімату

- *Інтеграція біорізноманіття в кліматичну політику*: створення механізмів, що дозволяють інтегрувати збереження біорізноманіття у стратегії зміни клімату. Це включає в себе захист екосистем, які є природними «буферами» для зменшення впливу зміни клімату (наприклад, лісів та боліт, які поглинають CO₂).

- *Політика, спрямована на адаптацію та збереження біорізноманіття*: включення заходів з адаптації та захисту біорізноманіття в національні та міжнародні стратегії з боротьби зі зміною клімату, а також підтримка екологічно чистих технологій.

- *Створення синергій між заходами боротьби з кліматичними змінами та збереженням біорізноманіття*: застосування рішень, які одночасно вирішують завдання щодо скорочення парникових газів та підтримки біорізноманіття (наприклад, лісовідновлення).

Міжнародна співпраця

- *Глобальні ініціативи*: активна участь у міжнародних кліматичних угодах та ініціативах, таких як Конвенція про біологічне різноманіття (CBD), Паризька угода щодо зміни клімату, і програма ООН щодо сталого розвитку (SDGs).

- *Обмін науковим досвідом*: співпраця між країнами для обміну досвідом у сфері збереження біорізноманіття, адаптації до зміни клімату, а також спільне фінансування природоохоронних проєктів.

Підвищення обізнаності та освіта

- *Освіта та підвищення обізнаності*: активне інформування громадськості, бізнесу та урядів про важливість збереження біорізноманіття і його взаємозв'язок зі зміною клімату. Підвищення екологічної свідомості серед населення та учнів, впровадження екологічних програм в школи та університети.

Зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття вимагає комплексного підходу, що поєднує збереження природних екосистем, покращення екологічної політики, застосування сталих практик і технологій, а також активну участь кожної людини в процесі охорони природи.

ВИСНОВКИ

1. Виділяють п'ять основних загроз біорізноманіттю: втрата середовища існування, зміна клімату, інвазійні види, забруднення, надмірна експлуатація природних ресурсів.

2. Кліматичні умови та кліматичні ризики вважаються визначальним фактором щодо змін біорізноманіття у майбутньому. Основні ризики кліматичних змін для біорізноманіття полягають в тому, що компоненти зміни клімату (концентрація CO₂, температура, опади, динаміка світового океану) впливають на всі рівні біорізноманіття: генетичний – зниження генетичної різноманітності популяцій; видовий – зменшення видового багатства; екосистемний – зміни функціонування середовища існування. Прогнозується, що у майбутньому докорінно змінити структуру біологічних угруповань – залишаться ті види, які зможуть адаптуватися до нових умов.

3. Виділяється дві основні причини зміни клімату – підсилення парникового ефекту та збільшення викидів парникових газів, і різноманітні наслідки: глобальне потепління, танення льодовиків, зменшення біорізноманіття, хвилі тепла, більше посух та пилові бурі, зміни в опадах, частіші й більш інтенсивні шторми, океанічні течії та їх зміни, кліматичні біженці.

4. Зміна клімату спричиняє опосередкований вплив на гідрохімічний режим акваторій, стан природної кормової бази, структуру іхтіценозів, умови відтворення й поповнення природних популяцій гідробіонтів. Визначають три види реакцій біоти на зміну клімату: міграція, адаптація та зникнення.

5. Розуміння впливу зміни клімату на біорізноманіття допомагає визначити пріоритети стратегій збереження біорізноманіття. Головним міжнародним юридичним документом щодо збереження біорізноманіття є Конвенція про біологічне різноманіття, цілі та задачі якої активно включаються до планів дій у рамках регіонального й міжнародного співробітництва.

6. Міжнародна кліматична політика спрямована на розроблення заходів захисту довкілля шляхом скорочення викидів «парникових» газів та адаптації

біоти до наслідків зміни клімату. Основними протидіями змінам клімату у світі є міжнародні кліматичні переговори та перехід на відновлювальну енергетику. Загальними підходами до вирішення проблем антропогенної зміни клімату є пом'якшення її наслідків, тобто запобігання надмірним викидам парникових газів, сприяння їх поглинанню, а також адаптація до зміни клімату.

7. Результати спостережень і наукових досліджень свідчать про певні наслідки зміни клімату в Україні: потепління, посухи, зниження водності річок та перерозподіл опадів, підняття рівня Чорного та Азовського морів. Оцінка температурного режиму країни свідчить про значну його аномальність відносно кліматичної норми та активізацію процесу потепління, особливо у Степовій зоні. Вплив факторів зміни клімату може спричинити збіднення чисельності 8% видів рослин та 10% тварин.

8. Україна, як держава з перехідною економікою, робить усе можливе для створення адекватного потенціалу, достатнього для здійснення пріоритетних заходів у рамках національних стратегій та планів дій щодо збереження біорізноманіття. У країні впроваджується екосистемний підхід до визначення цінності біорізноманіття, удосконалюється законодавча база в галузі його охорони, збереження та сталого використання, постійно здійснюються заходи, спрямовані на поліпшення стану різноманіття флори і фауни.

9. Біорозкладаємі органічні відходи є одним з головних антропогенних чинників, що впливають на зміну клімату і виникнення парникового ефекту.

10. Найбільшого екологічного ефекту щодо запобігання впливу харчових біорозкладних відходів на довкілля, у тому числі, викидів парникових газів, можна досягти через регулювання процесів, пов'язаних з їх утворенням, транспортуванням, мінімізацію втрат продукції, оптимізацію відповідних виробництв, а також на етапі споживання (домашні господарства, заклади харчування тощо).

11. В Україні у морфологічному складі твердих побутових відходів (ТПВ), які видаляються на звалища, частка харчових відходів складає 40%.

12. До найбільш розповсюджених методів скорочення викидів парникових газів, які виникають від накопичення біовідходів, відносяться захоронення на полігонах і звалищах (майже 95%) і переробка (компостування й анаеробне зброджування). До альтернативних методів відносяться метод спалювання ТПВ з утилізацією тепла і «чистий» метод виробництва енергії за рахунок виробництва газоподібного водню з відходів.

13. План поводження з органічними біорозкладними відходами (БРВ) і оцінювання їхнього впливу на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах включає в себе:

- організацію моніторингу щодо утворення БРВ (харчових і «зелених»);
- забезпечення роздільного збирання БРВ;
- визначення обсягів БРВ, що утворилися;
- оцінювання морфологічного і хімічного складу БРВ;
- визначення впливу на складові довкілля;
- вибір найкращого методу знешкодження / перероблення БРВ;
- прийняття рішення щодо методів знешкодження / перероблення БРВ.

14. Еколого-економічні переваги при ефективному поводженні з біорозкладними відходами досягаються за рахунок:

- уникнення викидів, які утворюються під час виробництва матеріалів, отриманих з відходів первинних ресурсів;
- використання компосту, що дозволить уникнути викидів, пов'язаних з використанням торфу чи іншого органічного добрива;
- енергії, яка отримана при спалюванні, що дозволить уникнути використання викопного палива в інших енергетичних системах;
- уникнення викидів на звалищах внаслідок переробки цих матеріалів.

15. В УКРНДІЕП розроблена технологія очищення стічних вод харчової промисловості, заснована на використанні специфічних біоценозів, що в умовах різних кисневих режимів утилізують органічні речовини й сполуки, які містять азот з утворенням інертного молекулярного азоту, при чому скорочується видалення метану.

16. Одна з основних стратегій боротьби з впливом зміни клімату на біорізноманіття та екосистеми – це збереження природних областей і створення заповідних територій, які дозволяють зберегти різноманіття видів, забезпечуючи їм безпечне просторове середовище. Ключовими рекомендаціями щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття є:

- збереження та відновлення природних середовищ існування;
- збереження видів через охорону природних популяцій;
- використання принципу адаптації на рівні екосистем;
- стале управління водними ресурсами та захист водних екосистем;
- використання сталих методів землекористування;
- регулярний моніторинг та оцінка впливу;
- зменшення викидів парникових газів;
- інтеграція питання збереження біорізноманіття в кліматичну політику;
- посилення міжнародної співпраці, обмін науковим досвідом;
- підвищення обізнаності та екологічна освіта.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

Вступ

1. Thuiller W. Climate change and the ecologist. *Nature*. 2007; 448:550-2.
2. Конвенція про біологічне різноманіття. П'ятий національний звіт України. Мінприроди України. Київ, 2015. 68 с.
3. Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року» від 28.02.2019 № 2697-VIII. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19>
4. Вплив зміни клімату на біорізноманіття та екосистеми [Електронний ресурс]. URL: <https://vorobus.com/2023/08/vplyv-zminy-klimatu-na-bioriznomanittia-ta-ekosystemy.html>
5. WWF Living Planet Report, 2016. [Електронний ресурс]. URL: awsassets.panda.org/downloads/lpr_living_planet_report_2016.pdf 37
6. В. Тиравський «В Україні, внаслідок війни, назавжди зникли 20 видів рослин і тварин» [Електронний ресурс]. URL: <https://foreignukraines.com/2023/11/22/in-ukraine-as-a-result-of-the-war-20-species-of-plants-and-animals-disappeared-forever/>

Розділ 1.

1. Конвенція про біологічне різноманіття (Convention on Biological Diversity) [Електронний ресурс]. URL: <http://www.biodiv.org>
2. ТЕЕВ (2008) An Interim Report. European Communities.
3. Походенко В.Д. Розвиток в НАН України наукових досліджень з вивчення та збереження біорізноманіття / Національна Академія Наук України. Короткий річний звіт 2013. Вид-во «ВТС Принт». Київ, 2014. С.7. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.nas.gov.ua/text/report/2013ukr.pdf>
4. Шеляг-Сосонко Ю.Р. Біорізноманітність, наука і суспільство. *Укр. ботан. журн.*, 2011, т. 68, № 1. С. 21-34.

5. Braat, L., ten Brink, P. et al. (eds.) (2008) The Cost of Policy Inaction: The Case of Not Meeting the 2010 Biodiversity Target, report for the European Commission. Wageningen/Brussels, May 2008.

6. IPBES (2019): Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. 2019. [Електронний ресурс]. URL: <https://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>

7. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB), 2010. [Електронний ресурс]. URL: http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/pdf/teeb_report.pdf -2017

8. Конвенція про біологічне різноманіття. П'ятий національний звіт України. Мінприроди України, Київ, 2015. 68 с. [Електронний ресурс]. URL: http://www.menr.gov.ua/docs/activity-dopovidi/UKRAINE_5th_Nat_Rep_CBD_ua.pdf

9. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2020 році [Електронний ресурс]. URL: [https://menr.gov.ua/files/docs/Zvit/2022/Національна%20Доповідь%202020%20\(2\).pdf](https://menr.gov.ua/files/docs/Zvit/2022/Національна%20Доповідь%202020%20(2).pdf)

10. Стратегічний план з біорізноманіття на 2011 – 2020 роки (Нагоя, Японія, 18 – 29 жовтня 2010) [Електронний ресурс]. URL: [<https://www.cbd.int/decision/cop/?id=12268>]

11. Збірник матеріалів до курсу «Наукові основи збереження біорізноманіття». Розділ 4. Огляд загроз для біорізноманіття / М.Ф. Лаверті, Е.Дж. Стерлінг. Київ, 2015. 20 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://drive.google.com/folderview>

12. WWF Living Planet Report, 2016 [Електронний ресурс]. URL: awsassets.panda.org/downloads/lpr_living_planet_report_2016.pdf

13. Зміна клімату в Україні та світі: причини, наслідки та рішення для протидії [Електронний ресурс]. URL: <https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html#1>

14. FAO. Глобальна оцінка лісових ресурсів 2020 року. Основні висновки [Електронний ресурс] / FAO. 2020. URL: <https://www.fao.org/3/ca8753/ca8753.pdf>
15. Публічний звіт голови державного агенства лісових ресурсів України за 2020 рік [Електронний ресурс]. URL: <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/публічні%20звіти/publichniy-zvit-derzhlisagentstva-za-2020.pdf>
16. Державне агенство лісових ресурсів України. Публічні звіти Держлісагентства [Електронний ресурс]. URL: <https://forest.gov.ua/agentstvo/komunikaciyi-z-gromadskistyuu/publichni-zviti-derzhlisagentstva>
17. Збірник матеріалів до курсу «Наукові основи збереження біорізноманіття». Розділ 5. Інвазійні види та механізми інвазії / К. Фінлейсон, А. Альохін. Київ, 2015. 21 с. [Електронний ресурс]. URL: <https://drive.google.com/folderview>
18. 100 of the World's Worst Invasive Alien Species. The Global Invasive Species Database. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.issg.org/database/species/search.asp?st=100ss>
19. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2020 році [Електронний ресурс] URL: [https://merp.gov.ua/files/docs/Zvit/2022/Національна%20Доповідь%202020%20\(2\).pdf](https://merp.gov.ua/files/docs/Zvit/2022/Національна%20Доповідь%202020%20(2).pdf)
20. Васенко О. Г., Старко М. В., Верниченко-Цветков Д. Ю., Міланіч Г. Ю. Пістія телорезовидна (*Pistia stratiotes*) у водних об'єктах Харківської області //X Міжнародна наук.-практ. конф. “Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення”: Сб. наук. ст. / НДУ «УКРНДІЕП». Х.: Райдер, 2014. С. 43-48.
21. Васенко О. Г., Старко М. В., Верниченко-Цветков Д. Ю. Деякі підсумки вивчення стану пістії телорезовидної (*Pistia stratiotes*) у водних об'єктах Харківської області // *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: Зб. наук. ст. XI Міжнародної наук.-практ. конф. (м. Харків, 7-11 вересня 2015 р.) / УКРНДІЕП. Х.: Райдер, 2015. С. 48-52.
22. Singh V, Shukla S, Singh A (2021) The principal factors responsible for biodiversity loss. *Open J Plant Sci* 6(1): 011-014. DOI: 10.17352/ojps.000026

23. Ковальчук Г. В. Зоологія з основами екології [Електронний ресурс] / Ковальчук Г. В // Суми : Університетська книга. 2003. URL: <https://lifelib.info/zoology/zoology/10.html>

24. Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року. Операційний план реалізації у 2022 – 2024 роках Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р) від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р). [Електронний ресурс]. URL: <https://mepr.gov.ua/news/38362.html>

25. Конвенція про біологічне різноманіття (Convention on Biological Diversity) [Електронний ресурс]. URL: <http://www.biodiv.org>

26. Васенко О.Г., Рибалова О.В., Жук В.М., Козловська О.В. Визначення впливу кліматичних умов на екологічний стан р. Уди в Харківській області // *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки* : Зб.наук.пр./ УкрНДІЕП. Х.: Райдер, 2014 Вип. XXXVI. С. 13-22.

27. Васенко О.Г., Верниченко-Цветков Д.Ю., Козловська О.В. Організація моніторингу появи та розповсюдження чужорідних видів гідробіонтів // *Екологічна безпека: проблеми і шляхи вирішення*: Зб. наук. ст. XII Міжнародної наук.-практ. конф. (м. Харків, 5-9 вересня 2016 р.) / УКРНДІЕП. Х.: Райдер, 2016. С. 37-44.

28. Конвенція «Про охорону дикої фауни і флори та природних середовищ мешкання в Європі» (Берн, 19 вересня 1979 р.) [Електронний ресурс]. URL: <https://wcd.coe.int/com.instranet>.

29. Всеєвропейська стратегія збереження біологічного та ландшафтного різноманіття (Софія, 1995) [Електронний ресурс]. URL: http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/994_711

30. Стратегічний план з біорізноманіття на 2011 – 2020 роки (Нагоя, Японія, 18-29 жовтня 2010). [Електронний ресурс]. URL: <https://www.cbd.int/decision/cop/?id=12268>

31. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 року: Повернення природи у наше життя. Звернення Комісії до Європейського Парламенту, Ради, Європейського Економічно-Соціального Комітету та Комітету Регіонів (неофіційний адаптований переклад українською) / пер. з англ. О. Осипенко; ред. та адапт. А. Куземко та ін. Чернівці : Друк Арт, 2020. 36 с.

32. Концепція Загальнодержавної програми збереження біорізноманіття на 2005 – 2025 роки. Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 22 вересня 2004 р. N 675-р. Офіційна веб-сторінка: [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/675-2004-%D1%80#Text>

Розділ 2

1. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / [С.П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. К.: НІСД, 2020. 110 с.

2. Зміна клімату в Україні та світі: причини, наслідки та рішення для протидії [Електронний ресурс]. URL: <https://ecoaction.org.ua/zmina-klimatu-ua-ta-svit.html#1>

3. Шекк П.В., Лобода Н.С., Вплив змін клімату на структуру та функції водних екосистем, стан природних іхтіоценозів і перспективи розвитку аквакультури. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: Збірник тез Міжнародної наук. – практ. конференції. Київ. 2018. С. 318-323.*

4. С. Н. Половкова, В. Г. Терещенко, Л. И. Терещенко и др. Зміни видової структури рибного населення сапропелевого озера Неро. *Гідробіол. журн. Т. 43. № 1. К. 2007. С. 59-73.*

5. Гринько О.Е., Гоч І.В. Вплив змін клімату на нерест прісноводної риби // *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: Зб. тез міжнародної науково-практичної конференції. К. 2018 р.*

6. Голуб Р. А., Вергелес О. П. Вплив кліматичних змін на водні ресурси України та їх мешканців. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики*

для аграрної науки та освіти: збірник тез II Міжнародної науково-практичної конференції (10-12 квітня 2019 року). ДУ НМЦ «Агроосвіта». Київ – Миколаїв – Херсон. 2019. С. 224-227.

7. Harvey C.J. Effect of temperature change on demersal fishes in the California current: a bioenergetics approach // Can. J. Fish and Aquat. Sci. 2009. Vol. 66, N 9. P. 1449–1461.

8. Huang F., Xia Z., Zhang N., Zhihua D. Does hydrologic regime affect fish diversity? A case study of the Yangtze Basin (China) // Environ. Biol. Fish. 2011. Vol. 92, N 4. P. 569–584.

9. Оліщук О. В., Миронов С. В., Рудя Д. М. Передумови зміни видового різноманіття іхтіофауни пониззя Дніпра. *Раціональне використання біоресурсів та охорона навколишнього середовища»: матеріали наукової Інтернет-конференції молодих вчених,аспірантів та студентів. Херсон: 2021. С. 42-45.*

10. Новіцький Р. О. Масштаби, спрямованість та наслідки інвазій чужорідних видів риб у Дніпровські водосховища. Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук. Київ: Інститут гідробіології, 2019. 367с.

12. Шевченко В., Корнієнко В. Сучасний вплив клімату на розвиток аквакультури півдня України. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: збірник тез IV Міжнародної науково-практичної конференції. Київ. 2021. С. 174-176.*

13. Коваленко В.Ф., Злацький І.А., Осмалений М.С. Вплив змін клімату і течії на інвазії морських і тропічних видів риб у річних екосистемах Дніпра. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти: збірник тез Міжнародної наук. - практ. конференції. Київ. 2018. С. 64-66.*

14. Heller NE, Zavaleta ES (2009) Biodiversity management in the face of climate change: a review of 22 years of recommendations. *Biological Conservation*, 142, 14–32.

15. Millenium Ecosystem Assessment (2005) *Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis*. World Resources Institute, Washington, D.C.

16. Снігірьов С. М. Динаміка видового складу та структурних характеристик іхтіофауни басейну Дністра в умовах клімато-обумовлених змін. *Транскордонне співробітництво в адаптації басейну Дністра до зміни клімату*: зб. наук. ст. Київ. Asoc. Intern. Ecologică a Păstrărilor Roului "Eco-TIRAS" (Tipogr. "Elan Poligraf" SRL), 2011. С. 173-183.

17. Снігірьов С. М. Биорізноманіття іхтіофауни дельти Дністра. *Екологія міст та рекреаційних зон*: Наук. - практ. конф. Одеса, 2011. С. 142-144.

18. Екосистема нижнього Дністра в умовах посиленого антропогенного впливу. Кишинів. "Штиинца", 1990. 259 с.

19. Долгий В. Н. Сучасний стан іхтіофауни басейну Дністра в межах Молдови. *Збереження біорізноманіття басейну Дністра*: мат. міжн. конф. Кишинів, 1999 р. С. 61-62.

20. Оцінити стан промислових об'єктів у внутрішніх водоймах Північно-західного Причорномор'я та на прилеглому шельфі Чорного моря, вивчити динаміку їх чисельності для визначення можливих лімітів вилучення та регулювання рибальства, розробити довгострокові прогнози промислової обстановки: Звіт з НДР. Одеса: ДП «ОдЦ ЮгНІРО», 2009. 101с.

21. Керівництво з водних ресурсів та адаптації до зміни клімату // ЄЕК ООН, Женева, 2010. № R.09.П.Е.14. 127 с.

22. Старушенко Л. І., Бушуєв С. Г. Причорноморські лимани Одещини та їх рибогосподарське використання. Одеса: Астропринт, 2001.

23. Шекк П.В., Лобода Н.С., Вплив змін клімату на структуру та функції водних екосистем, стан природних іхтіоценозів і перспективи розвитку аквакультури. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти*: Збірник тез міжнародної наук. - практ. конференції. Київ: 2018. С. 318-323.

24. Долинський В. Л., Афанасьєв С. О., Бігун В. К. та ін. 4.3.5. Іхтіофауна. Гідроекосистеми заповідних територій верхньої прип'яті в умовах кліматичних змін: монографія / за ред. В. Д. Романенка, С. О. Афанасьєва та В. І. Осадчого Київ: Кафедра, 2013. С. 176-187.

25. Миколаїв І. І. Деякі аспекти екології стихійного розселення гідробіонтів. *Підсумки та перспективи акліматизації кормових безхребетних у рибогосподарських водоймах*: зб. наук. праць. 1985. вип. 2. С. 81-89.

26. Arianna Servili, Adelino V. M. Canario, Olivier Mouchel, Jose Antonio Munoz-Cueto. Climate change impacts on fish reproduction are mediated at multiple levels of the brain-pituitary-gonad axis. *General and Comparative Endocrinology*, Elsevier, 2020, 291, pp.113439. [ff10.1016/j.ygcen.2020.113439](https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113439). [ffhal02933373f](https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2020.113439)

27. Nõges, P., and Järvet, A. (2005). Climate driven changes in the spawning of roach (*Rutilus rutilus* (L.)) and bream (*Abramis brama* (L.)) in the Estonian part of the Narva River basin. *Boreal Environment Research*, 10(1): 45–55.

28. Бондарев Д. Л., Кунах О. М., Жуков О. В. Фенологія нересту риб середньої течії річки Дніпро. Дніпро: Вид-во Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара, 2022. 182 с.

29. Новіцький Р.О. Глобальна зміна клімату як чинник інвазій чужорідних видів тварин в Україні. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти*: збірник тез Міжнародної наук. - практ. конференції. Київ. 2018. С. 389-393.

30. Водяницький О. М. Морфофізіологічні та цитогенетичні особливості ембріогенезу риб при різних екологічних умовах водного середовища. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук. Київ: НАНУ Інститут гідробіології. 2018. 208с.

31. Матвієнко Н. М. Роль температурного режиму у розвитку захворювань риби. *Кліматичні зміни та сільське господарство. Виклики для аграрної науки та освіти*: збірник тез Міжнародної наук. - практ. конференції. Київ: 2018. С. 60-64.

32. Паризька угода (ратифікована Законом України від 14.07.2016№ 1469-VIII) [Електронний ресурс]. URL: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_161#Text

33. Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року. Операційний план реалізації у 2022 – 2024 роках Стратегії

екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року (схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р) від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р). [Електронний ресурс]. URL: <https://mepr.gov.ua/news/38362.html>

34. EU Climate Law: MEPs confirm deal on climate neutrality by 2050. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.europarl.europa.eu/news/en/press-room/20210621IPR06627/eu-climate-law-meps-confirm-deal-on-climate-neutrality-by-2050>

35. Стратегія біорізноманіття ЄС до 2030 року: Повернення природи у наше життя. Звернення Комісії до Європейського Парламенту, Ради, Європейського Економічно-Соціального Комітету та Комітету Регіонів (неофіційний адаптований переклад українською) / пер. з англ. О. Осипенко; ред. та адапт. А. Куземко та ін. Чернівці: Друк Арт, 2020. 36 с.

36. Ми рухаємось до найбільшої кризи – до знищення людства. Інтерв'ю з головою Міндовкілля Р. Абрамовським /А. Загоруйчик, Д. Денков. Економічна правда, липень 2021. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.epravda.com.ua/publications/2021/07/1/675522/>

37. Закон України Про ратифікацію Угоди між Україною та Європейським Союзом про участь України у Програмі ЄС LIFE – Програмі дій з довкілля та клімату № 2590-IX від 20.09.2022 [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2590-20#Text>

38. Зобов'язання та виклики нової фази проекту Європейського Союзу «Угода мерів – Схід (3-я фаза)». [Електронний ресурс]. URL: <https://www.minregion.gov.ua/napryamki-diyalnosti/energoefektivnist-ta-energozberezhennya/mizhnarodniy-dosvid/zobovyazannya-ta-vyklyky-novoyi-fazy-proektu-yevropejskogo-soyuzu-ugoda-meriv-shid-3-a-faza>

Розділ 3

1. MA, 2005 MAMillennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-Being Island Press, Washington, DC (2005)

2. Nieto-Romero et al., 2014 M. Nieto-Romero, E. Oteros-Rozas, J.A. González, B.Martín-López Exploring the knowledge landscape of ecosystem services assessments in Mediterranean agroecosystems: insights for future research *Environ. Sci. Policy*, 37 (2014), pp. 121-133
3. Laurila-Pant , M , Lehikoinen , A , Uusitalo , L & Venesjärvi , R 2015 , ' How to value biodiversity in environmental management? ' *Ecological Indicators* , vol 55 , pp. 1-11
4. D. Pearce Valuing biological diversity: issues and overview *Valuat. Biodivers. Stud.* (2001)
5. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB), 2010. [Електронний ресурс]. URL http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/pdf/teeb_report.pdf
6. Cardoso de Mendonça et al., 2003 M.J. Cardoso de Mendonça, A. Sachsida, P.R. Loureiro A study on the valuing of biodiversity: the case of three endangered species in Brazil *Ecol. Econ.*, 46 (1) (2003), pp. 9-18
7. Christie et al., 2006 M. Christie, N. Hanley, J. Warren, K. Murphy, R. Wright, T.Hyde Valuing the diversity of biodiversity *Ecol. Econ.*, 58 (2) (2006), pp. 304-317.
8. Конвенція про біологічне різноманіття (Convention on Biological Diversity) [Електронний ресурс]. URL: <http://www.biodiv.org>
9. WWF Living Planet Report, 2016. [Електронний ресурс]. URL: awsassets.panda.org/downloads/lpr_living_planet_report_2016.pdf 37
10. Біорізноманіття: наші рішення – в природі. UN environment programme [Електронний ресурс]. URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/biodiversity-our-solutions-are-nature>
11. Вплив зміни клімату на біорізноманіття та екосистеми [Електронний ресурс]. URL: <https://vorobus.com/2023/08/vplyv-zminy-klimatu-na-bioriznomanittia-ta-ekosystemy.html>
12. Climate Change and Water UN-Water Policy Brief Climate Change and Water UN-Water Policy Brief. URL: https://unece.org/sites/default/files/2021-08/UN_Water_PolicyBrief_ClimateChange_Water.pdf

13. Микола Пати́ка про глобальні зміни клімату і виклики, які вони несуть / Національний університет біоресурсів і природокористування України, 18 червня 2020 р. [Електронний ресурс]. URL: <https://nubip.edu.ua/node/78194>

14. Weiskopf, Sarah R.; et al., Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States. 2020. *Science of The Total Environment*. 733: 137782-. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137782>.

15. Millennium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Island Press, Washington, D.C.

16. Díaz, S., Settele, J., Brondízio, E., Ngo, H.T., Guèze, M., Agard Trinidad, J., Arneth, A., Balvanera, P., Brauman, K., Butchart, S., Chan, K., Garibaldi, L., Ichii, K., Liu, J., Subramanian, S.M., Midgley, G., Miloslavich, P., Molnar, Z., Obura, D., Pfaff, A., Polasky, S., Purvis, A., Razzaque, J., Reyers, B., Chowdhury, R.R., Shin, Y.-J., Visseren-Hamakers, I., Willis, K., Zayas, C., 2019. Summary for Policymakers of the Global Assessment Report on Biodiversity and Ecosystem Services of the Intergovernmental Science-policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services. Secretariat of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services, Bonn, Germany

17. Beever, E.A., O’Leary, J., Mengelt, C., West, J.M., Julius, S., Green, N., Magness, D., Petes, L., Stein, B., Nicotra, A.B., Hellmann, J.J., Robertson, A.L., Staudinger, M.D., Rosenberg, A.A., Babij, E., Brennan, J., Schuurman, G.W., Hofmann, G.E., 2016. Improving conservation outcomes with a new paradigm for understanding species’ fundamental and realized adaptive capacity. *Conserv. Lett.* 9, 131–137. <https://doi.org/10.1111/conl.12190>

18. Foden, W.B., Young, B.E., 2016. *IUCN SSC Guidelines for Assessing Species’ Vulnerability to Climate Change*. Cambridge, England and Gland, Switzerland. <https://doi.org/10.1038/scientificamerican0315-S1>

19. Glick, P., Stein, B.A., Edelson, N.A., 2011. *Scanning the Conservation Horizon: A Guide to Climate Change Vulnerability Assessment*

20. Kovach, R.P., Dunham, J.B., Al-Chokhachy, R., Snyder, C.D., Letcher,

B.H., Young, J.A.

21. Beever, E.A., Hall, L.E., Varner, J., Loosen, A.E., Dunham, J.B., Gahl, M.K., Smith, F.A., Lawler, J.J., 2017. Behavioral flexibility as a mechanism for coping with climate change. *Front. Ecol. Environ.* 15, 299–308. <https://doi.org/10.1002/fee.1502>

22. Cheung, W.W.L., Sarmiento, J.L., Dunne, J., Frölicher, T.L., Lam, V.W.Y., Palomares, M.L.D., Watson, R., Pauly, D., 2013. Shrinking of fishes exacerbates impacts of global ocean changes on marine ecosystems. *Nat. Clim. Chang.* 3, 254–258. <https://doi.org/10.1038/inclimate1691>

23. Eastman, L.M., Morelli, T.L., Rowe, K.C., Conroy, C.J., Moritz, C., 2012. Size increase in high elevation ground squirrels over the last century. *Glob. Chang. Biol.* 18, 1499–1508. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2012.02644.x>

24. Ozgul, A., Childs, D.Z., Oli, M.K., Armitage, K.B., Blumstein, D.T., Olson, L.E., Tuljapurkar, S., Coulson, T., 2010. Coupled dynamics of body mass and population growth in response to environmental change. *Nature* 466, 482–485. <https://doi.org/10.1038/nature09210>

25. Weeks, B.C., Willard, D.E., Ellis, A.A., Witynski, M.L., Winger, B.M., 2019. Shared morphological consequences of global warming in North American migratory birds. *Ecol. Lett.* <https://doi.org/10.1111/610329>

26. Gardner, J.L., Peters, A., Kearney, M.R., Joseph, L., Heinsohn, R., 2011. Declining body size: a third universal response to warming? *Trends Ecol. Evol.* 26, 285–291. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.005>

27. Atkinson, D., 1994. Temperature and organism size - a biological law for ectotherms. *Adv. Ecol. Res.* 25, 1–58

28. Le Bris, A., Pershing, A.J., Gaudette, J., Pugh, T.L., Reardon, K.M., 2017. Multi-scale quantification of the effects of temperature on size at maturity in the American lobster (*Homarus americanus*). *Fish. Res.* 186, 397–406. <https://doi.org/10.1016/j.fishres.2016.09.008>

29. Pershing, A.J., Alexander, M.A., Hernandez, C.M., Kerr, L.A., Bris, A. Le, Mills, K.E., Nye, J.A., Record, N.R., Scannell, H.A., Scott, J.D., Sherwood, G.D.,

Thomas, A.C., 2016. Response to comments on “slow adaptation in the face of rapid warming leads to collapse of the Gulf of Maine cod fishery”. *Science* (80-.) 352, 423. [ence.aae0463](https://doi.org/10.1126/science.1254463)

30. Conover, D.O., Duffy, T.A., Hice, L.A., 2009. The covariance between genetic and environmental influences across ecological gradients: reassessing the evolutionary significance of countergradient and cogradient variation. *Ann. N. Y. Acad. Sci.* <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.2009.04575.x>

31. Rudolf, V.H.W., 2019. The role of seasonal timing and phenological shifts for species coexistence. *Ecol. Lett.* 22, 1324–1338. <https://doi.org/10.1111/ele.13277>

32. Staudinger, M.D., Mills, K.E., Stamieszkin, K., Record, N.R., Hudak, C.A., Allyn, A., Diamond, A., Friedland, K.D., Golet, W., Henderson, M.E., Hernandez, C.M., Huntington, T.G., Ji, R., Johnson, C.L., Johnson, D.S., Jordaan, A., Kocik, J., Li, Y., Liebman, M., Nichols, O.C., Pendleton, D., Richards, R.A., Robben, T., Thomas, A.C., Walsh, H.J., Yakola, K., 2019. It’s about time: a synthesis of changing phenology in the Gulf of Maine ecosystem. *Fish. Oceanogr.*, 532–566 <https://doi.org/10.1111/fog.12429>

33. Ault, T.R., Schwartz, M.D., Zurita-Milla, R., Weltzin, J.F., Betancourt, J.L., 2015. Trends and natural variability of spring onset in the coterminous United States as evaluated by a new gridded dataset of spring indices. *J. Clim.* 28, 8363–8378. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-14-00736.1>

34. Cohen, J.M., Lajeunesse, M.J., Rohr, J.R., 2018. A global synthesis of animal phenological responses to climate change. *Nat. Clim. Chang.* 8, 224–228. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0067-3>

35. Chmura, H.E., Kharouba, H.M., Ashander, J., Ehlman, S.M., Rivest, E.B., Yang, L.H., 2019. The mechanisms of phenology: the patterns and processes of phenological shifts. *Ecol. Monogr.* 89, 1–22. <https://doi.org/10.1002/ecm.1337>

36. Pearson, K.D., 2019. Spring- and fall-flowering species show diverging phenological responses to climate in the Southeast USA. *Int. J. Biometeorol.* 63, 481–492. <https://doi.org/10.1007/s00484-019-01679-0>

37. Fu, Y.H., Zhao, H., Piao, S., Peaucelle, M., Peng, S., Zhou, G., Ciais, P.,

Song, Y., Vitasse, Y., Zeng, Z., Janssens, I. a, Huang, M., Menzel, A., Pen, J., 2015. Declining global warming effects on the phenology of spring leaf unfolding. *Nature* 526, 104–107. <https://doi.org/10.1038/nature15402>

38. Thomas, A.C., Pershing, A.J., Friedland, K.D., Nye, J.A., Mills, K.E., Alexander, M.A., Record, N.R., Weatherbee, R., Henderson, M.E., 2017. Seasonal trends and phenology shifts in sea surface temperature on the North American northeastern continental shelf. *Elem Sci Anth* 5

39. Post, E., 2017. Implications of earlier sea ice melt for phenological cascades in arctic marine food webs. *Food Webs* 13, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2016.11.002>

40. Wasmund, N., Nausch, G., Gerth, M., Busch, S., Burmeister, C., Hansen, R., Sadkowiak, B., 2019. Extension of the growing season of phytoplankton in the western Baltic Sea in response to climate change. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 622, 1–16. <https://doi.org/10.3354/meps12994>

41. Post, E., 2017. Implications of earlier sea ice melt for phenological cascades in arctic marine food webs. *Food Webs* 13, 60–66. <https://doi.org/10.1016/j.fooweb.2016.11.002>

42. Sundby, S., Drinkwater, K.F., Kjesbu, O.S., 2016. The North Atlantic spring-bloom system – where the changing climate meets the winter dark. *Front. Mar. Sci.* 3, 28.

43. Rubenstein, M.A., Christophersen, R., Ransom, J.I., 2019. Trophic implications of a phenological paradigm shift: bald eagles and salmon in a changing climate. *J. Appl. Ecol.* 56, 769-778. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13286>

44. Visser, M.E., Gienapp, P., 2019. Evolutionary and demographic consequences of phenological mismatches. *Nat. Ecol. Evol.* 3, 879–885

45. Wann, G.T., Aldridge, C.L., Seglund, A.E., Oyler-McCance, S.J., Kondratieff, B.C., Braun, C.E., 2019. Mismatches between breeding phenology and resource abundance of resident alpine ptarmigan negatively affect chick survival. *Ecol. Evol.*, 7200–7212 <https://doi.org/10.1002/ece3.5290>

46. Zimova, M., Mills, L.S., Nowak, J.J., 2016. High fitness costs of climate

change induced camouflage mismatch in a seasonally colour moulting mammal. *Ecol. Lett.* 19, 299–307. <https://doi.org/10.1111/ele.12568>

47. Campbell, E.Y., Dunham, J.B., Reeves, G.H., Wondzell, S.M., 2019. Phenology of hatching, emergence, and end-of-season body size in young-of-year coho salmon in thermally contrasting streams draining the Copper River Delta, Alaska. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 76, 185–191. <https://doi.org/10.1139/cjfas-2018-0003>

48. Schluter, D., Price, T.D., Rowe, L., 1991. Conflicting selection pressures and life history tradeoffs. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 246, 11–17. <https://doi.org/10.1098/rspb.1991.0118>

49. Dunn, P.O., Møller, A.P., 2014. Changes in breeding phenology and population size of birds. *J. Anim. Ecol.* 83, 729–739. <https://doi.org/10.1111/1365-2656.12162>

50. Asch, R.G., Stock, C.A., Sarmiento, J.L., 2019. Climate change impacts on mismatches between phytoplankton blooms and fish spawning phenology. *Glob. Chang. Biol.* 25, 2544–2559. <https://doi.org/10.1111/gcb.14650>

51. Mayor, S.J., Guralnick, R.P., Tingley, M.W., Otegui, J., Withey, J.C., Elmendorf, S.C., Andrew, M.E., Leyk, S., Pearse, I.S., Schneider, D.C., 2017. Increasing phenological asynchrony between spring green-up and arrival of migratory birds. *Sci. Rep.* 7, 1902. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-02045-z>

52. Visser, M.E., Gienapp, P., 2019. Evolutionary and demographic consequences of phenological mismatches. *Nat. Ecol. Evol.* 3, 879–885

53. Lenoir, J., Svenning, J.C., 2015. Climate-related range shifts - a global multidimensional synthesis and new research directions. *Ecography (Cop.)* 38, 15–28. <https://doi.org/10.1111/ecog.00967>

54. Staudinger, M.D., Grimm, N.B., Staudt, A., Carter, S.L., Chapin, I.I.I.F.S., Kareiva, P., Ruckelshaus, M., Stein, B.A., 2012. Impacts of Climate Change on Biodiversity, Ecosystems, and Ecosystem Services: Technical Input to the 2013 National Climate Assessment. *Coop. Rep. To 2013 Natl. Clim. Assess* (296 p)

55. Wiens, J.J., 2016. Climate-related local extinctions are already widespread among plant and animal species. *PLoS Biol.* 14. <https://doi.org/10.1371/>

journal.pbio.2001104

56. Burrows, M.T., Schoeman, D.S., Buckley, L.B., Moore, P., Poloczanska, E.S., Brander, K.M., Brown, C., Bruno, J.F., Duarte, C.M., Halpern, B.S., Holding, J., Kappel, C.V., Kiessling, W., O'Connor, M.I., Pandolfi, J.M., Parmesan, C., Schwing, F.B., Sydeman, W.J., Richardson, A.J., 2011. The pace of shifting climate in marine and terrestrial ecosystems. *Science* (80-) 334, 652–655. <https://doi.org/10.1126/science.1210288>

57. Ralston, J., DeLuca, W.V., Feldman, R.E., King, D.I., 2017. Population trends influence species ability to track climate change. *Glob. Chang. Biol.* 23, 1390–1399. <https://doi.org/10.1111/gcb.13478>

58. Tayleur, C., Caplat, P., Massimino, D., Johnston, A., Jonzén, N., Smith, H.G., Lindström, Å., 2015. Swedish birds are tracking temperature but not rainfall: evidence from a decade of abundance changes. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 24, 859–872. <https://doi.org/10.1111/geb.12308>

59. García Molinos, J., Halpern, B.S.S., Schoeman, D.S.S., Brown, C.J.J., Kiessling, W., Moore, P.J.J., Pandolfi, J.M.M., Poloczanska, E.S.S., Richardson, A.J.J., Burrows, M.T.T., García Molinos, J., Halpern, B.S.S., Schoeman, D.S.S., Brown, C.J.J., Kiessling, W., Moore, P.J.J., Pandolfi, J.M.M., Poloczanska, E.S.S., Richardson, A.J.J., Burrows, M.T.T., 2015. Climate velocity and the future global redistribution of marine biodiversity. *Nat. Clim. Chang.* 6, 4–11. <https://doi.org/10.1038/nclimate2769>

60. Poloczanska, E.S., Brown, C.J., Sydeman, W.J., Kiessling, W., Schoeman, D.S., Moore, P.J., Brander, K., Bruno, J.F., Buckley, L.B., Burrows, M.T., Duarte, C.M., Halpern, B.S., Holding, J., Kappel, C.V., O'Connor, M.I., Pandolfi, J.M., Parmesan, C., Schwing, F., Thompson, S.A., Richardson, A.J., 2013. Global imprint of climate change on marine life. *Nat. Clim. Chang.* 3, 919–925. <https://doi.org/10.1038/Nclimate1958>

61. Pinsky, M.L., Worm, B., Fogarty, M.J., Sarmiento, J.L., Levin, S.A., 2013. Marine taxa track local climate velocities. *Science* (80-.) 341, 1239–1242

62. Alabia, I.D., García Molinos, J., Saitoh, S.I., Hirawake, T., Hirata, T.,

Mueter, F.J., 2018. Distribution shifts of marine taxa in the Pacific Arctic under contemporary climate changes. *Divers. Distrib.* 24, 1583–1597. <https://doi.org/10.1111/ddi.12788>

63. Mecklenburg, C.W., TA, M., Sheiko, B.A., Steinke, D., 2016. Pacific Arctic marine fishes. Monitoring Series Report No 23. Conservation of Arctic Flora and Fauna

64. Taylor, P.C., Maslowski, W., Perlwitz, J., Wuebbles, D.J., 2017. Arctic changes and their effects on Alaska and the rest of the United States. Forth Natioanl Climate Assessment. I, pp. 303–332. <https://doi.org/10.7930/J00863GK>

65. Vergés, A., Steinberg, P.D., Hay, M.E., Poore, A.G.B., Campbell, A.H., Ballesteros, E., Heck, K.L., Booth, D.J., Coleman, M.A., Feary, D.A., Figueira, W., Langlois, T., Marzinelli, E.M., Mizerek, T., Mumby, P.J., Nakamura, Y., Roughan, M., van Sebille, E., Gupta, A. Sen, Smale, D.A., Tomas, F., Wernberg, T., Wilson, S.K., 2014. The tropicalization of temper- ate marine ecosystems: climate-mediated changes in herbivory and community phase shifts. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.*, 281 <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.0846>

66. Crimmins, S.M., Dobrowski, S.Z., Greenberg, J. a, Abatzoglou, J.T., Mynsberge, A.R., 2011. Changes in climatic water balance drive downhill shifts in plant species' optimum elevations. *Science* 331, 324–327. <https://doi.org/10.1126/science.1199040>

67. Foster, J.R., D'Amato, A.W., 2015. Montane forest ecotones moved downslope in north-eastern USA in spite of warming between 1984 and 2011. *Glob. Chang. Biol.* 21, 4497–4507. <https://doi.org/10.1111/gcb.13046>

68. Estrada, A., Morales-Castilla, I., Caplat, P., Early, R., 2016. Usefulness of species traits in predicting range shifts. *Trends Ecol. Evol.* 31, 190–203. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2015.12.014>

69. Pacifici, M., Visconti, P., Butchart, S.H.M., Watson, J.E.M., Cassola, F.M., Rondinini, C., 2017. Species' traits influenced their response to recent climate change. *Nat. Clim. Chang.* 7, 205–208. <https://doi.org/10.1038/nclimate3223>

70. Elsen, P.R., Tingley, M.W., 2015. Global mountain topography and the

fate of montane species under climate change. *Nat. Clim. Chang.* 5, 5–10. <https://doi.org/10.1038/nclimate2656>

71. Guo, F., Lenoir, J., Bonebrake, T.C., 2018. Land-use change interacts with climate to determine elevational species redistribution. *Nat. Commun.* 9, 1–7. <https://doi.org/10.1038/s41467-018-03786-9>

72. Hannah, L., Flint, L., Syphard, A.D., Moritz, M.A., Buckley, L.B., McCullough, I.M., 2014. Fine-grain modeling of species' response to climate change: holdouts, stepping-stones, and microrefugia. *Trends Ecol. Evol.* 29, 390–397. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.04.006>

73. Kleisner, K.M., Fogarty, M.J., McGee, S., Barnett, A., Fratantoni, P., Greene, J., Hare, J.A., Lucey, S.M., McGuire, C., Odell, J., Saba, V.S., Smith, L., Weaver, K.J., Pinsky, M.L., 2016. The effects of sub-regional climate velocity on the distribution and spatial extent of marine species assemblages. *PLoS One* 11, 1–21. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0149220>

74. Sirami, C., Caplat, P., Popy, S., Clamens, A., Arlettaz, R., Jiguet, F., Brotons, L., Martin, J.L., 2017. Impacts of global change on species distributions: obstacles and solutions to integrate climate and land use. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 26, 385–394. <https://doi.org/10.1111/geb.12555>

75. Alexander, J.M., Chalmandrier, L., Lenoir, J., Burgess, T.I., Essl, F., Haider, S., Kueffer, C., McDougall, K., Milbau, A., Nuñez, M.A., Pauchard, A., Rabitsch, W., Rew, L.J., Sanders, N.J., Pellissier, L., 2018. Lags in the response of mountain plant communities to climate change. *Glob. Chang. Biol.* 24, 563–579. <https://doi.org/10.1111/gcb.13976>

76. Franks, S.J., Weber, J.J., Aitken, S.N., 2014. Evolutionary and plastic responses to climate change in terrestrial plant populations. *Evol. Appl.* 7, 123–139. <https://doi.org/10.1111/eva.12112>

77. Kingsolver, J.G., Buckley, L.B., 2017. Quantifying thermal extremes and biological variation to predict evolutionary responses to changing climate. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 372. <https://doi.org/10.1098/rstb.2016.0147>

78. Harrison, K.A., Pavlova, A., Telonis-Scott, M., Sunnucks, P., 2014.

Using genomics to characterize evolutionary potential for conservation of wild populations. *Evol. Appl.* 7, 1008–1025. <https://doi.org/10.1111/eva.12149>

79. Hendry, A.P., 2017. *Eco-evolutionary Dynamics*. Princeton University Press, Princeton, NJ. Hendry, A.P., Kinnison, M.T., Heino, M., Day, T., Smith, T.B., Fitt, G., Bergstrom, C.T., Oakeshott, J., Jørgensen, P.S., Zalucki, M.P., Gilchrist, G., Southerton, S., Sih, A., Strauss, S., Denison, R.F., Carroll, S.P., 2011. Evolutionary principles and their practical application. *Evol. Appl.* 4, 159–183. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2010.00165.x>

80. Jeremias, G., Barbosa, J., Marques, S.M., Asselman, J., Gonçalves, F.J.M., Pereira, J.L., 2018. Synthesizing the role of epigenetics in the response and adaptation of species to climate change in freshwater ecosystems. *Mol. Ecol.* 27, 2790–2806. <https://doi.org/10.1111/mec.14727>

81. Banta, J.A., Richards, C.L., 2018. Quantitative epigenetics and evolution. *Heredity (Edinb)* 121, 210–224. <https://doi.org/10.1038/s41437-018-0114-x>

82. Grenier, S., Barre, P., Litrico, I., 2016. Phenotypic plasticity and selection: nonexclusive mechanisms of adaptation. *Scientifica (Cairo)* 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/7021701>

83. Fox, R.J., Donelson, J.M., Schunter, C., Ravasi, T., Gaitán-Espitia, J.D., 2019. Beyond buying time: the role of plasticity in phenotypic adaptation to rapid environmental change. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 374. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0174>

84. Snell-Rood, E.C., Kobiela, M.E., Sikkink, K.L., Shephard, A.M., 2018. Mechanisms of plastic rescue in novel environments. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 49, 331–354. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110617-062622>

85. Ghalambor, C.K., McKay, J.K., Carroll, S.P., Reznick, D.N., 2007. Adaptive versus non-adaptive phenotypic plasticity and the potential for contemporary adaptation in new environments. *Funct. Ecol.* 21, 394–407. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2435.2007.01283.x>

86. De Meester, L., Stoks, R., Brans, K.I., 2018. Genetic adaptation as a biological buffer against climate change: potential and limitations. *Integr. Zool.* 13,

372–391. <https://doi.org/10.1111/1749-4877.12298>

87. Bay, R.A., Harrigan, R.J., Buermann, W., Le Underwood, V., Gibbs, H.L., Smith, T.B., Ruegg, K., 2018. Response to comment on “Genomic signals of selection predict climate- driven population declines in a migratory bird.”. *Science* (80-.) 361, 83–86. <https://doi.org/10.1126/science.aat7956>

88. Radchuk, V., Reed, T., Teplitsky, C., van de Pol, M., Charmantier, A., Hassall, C., Adamík, P., Adriaensen, F., Ahola, M.P., Arcese, P., Miguel Avilés, J., Balbontin, J., Berg, K.S., Borrás, A., Burthe, S., Clobert, J., Dehnhard, N., de Lope, F., Dhondt, A.A., Dingemanse, N.J., Doi, H., Eeva, T., Fickel, J., Filella, I., Fossøy, F., Goodenough, A.E., Hall, S.J.G., Hansson, B., Harris, M., Hasselquist, D., Hickler, T., Joshi, J., Kharouba, H., Martínez, J.G., Mihoub, J.-B., Mills, J.A., Molina-Morales, M., Moksnes, A., Ozgul, A., Parejo, D., Pilard, P., Poisbleau, M., Rousset, F., Rödel, M.-O., Scott, D., Senar, J.C., Stefanescu, C., Stokke, B.G., Kusano, T., Tarka, M., Tarwater, C.E., Thonicke, K., Thorley, J., Wilting, A., Tryjanowski, P., Merilä, J., Sheldon, B.C., Pape Møller, A., Matthysen, E., Janzen, F., Dobson, F.S., Visser, M.E., Beissinger, S.R., Courtiol, A., Kramer-Schadt, S., 2019. Adaptive responses of animals to climate change are most likely insufficient. *Nat. Commun.* 10, 1–14. <https://doi.org/10.1038/s41467-019-10924-4>

89. Bell, G., 2013. Evolutionary rescue and the limits of adaptation. *Philos. Trans. R. Soc. B Biol. Sci.* 368, 1-6. <https://doi.org/10.1098/rstb.2012.0080>

90. Carlson, S.M., Cunningham, C.J., Westley, P.A.H., 2014. Evolutionary rescue in a changing world. *Trends Ecol. Evol.* 29, 521–530. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2014.06.005>

91. Gomulkiewicz, R., Kingsolver, J.G., Carter, P.A., Heckman, N., 2018. Variation and evolution of function-valued traits. *Annu. Rev. Ecol. Evol. Syst.* 49, 139–164. <https://doi.org/10.1146/annurev-ecolsys-110316-022830>

92. Kopp, M., Matuszewski, S., 2014. Rapid evolution of quantitative traits: theoretical perspectives. *Evol. Appl.* 7, 169–191. <https://doi.org/10.1111/eva.12127>

93. Pelletier, F., Coltman, D.W., 2018. Will human influences on evolutionary dynamics in the wild pervade the Anthropocene? *BMC Biol.* 16, 1–10.

<https://doi.org/10.1186/s12915-017-0476-1>

94. Merilä, J., 2012. Evolution in response to climate change: in pursuit of the missing evidence. *BioEssays* 34, 811–818

95. Crozier, L.G., Hendry, A.P., Lawson, P.W., Quinn, T.P., Mantua, N.J., Battin, J., Shaw, R.G., Huey, R.B., 2008. Potential responses to climate change in organisms with complex life histories: evolution and plasticity in Pacific salmon. *Evol. Appl.* 1, 252–270. <https://doi.org/10.1111/j.1752-4571.2008.00033.x>

96. Chust, G., Allen, J.I., Bopp, L., Schrum, C., Holt, J., Tsiaras, K., Zavatarelli, M., Chifflet, M., Cannaby, H., Dadou, I., Daewel, U., Wakelin, S.L., Machu, E., Pushpadas, D., Butenschon, M., Artioli, Y., Petihakis, G., Smith, C., Garçon, V., Goubanova, K., Le Vu, B., Fach, B.A., Salihoglu, B., Clementi, E., Irigoien, X., 2014. Biomass changes and trophic amplification of plankton in a warmer ocean. *Glob. Chang. Biol.* 20, 2124–2139. <https://doi.org/10.1111/gcb.12562>

97. Lefort, S., Aumont, O., Bopp, L., Arsouze, T., Gehlen, M., Maury, O., 2015. Spatial and body-size dependent response of marine pelagic communities to projected global climate change. *Glob. Chang. Biol.* 21, 154–164. <https://doi.org/10.1111/gcb.12679>

98. Norby, R.J., Hanson, P.J., O'Neill, E.G., Tschaplinski, T.J., Weltzin, J.F., Hansen, R.a., Cheng, W., Wullschleger, S.D., Gunderson, C.a., Edwards, N.T., Johnson, D.W., 2002. Enriched deciduous forest and the implications for carbon storage. *Ecol. Appl.* 12, 1261–1266. [https://doi.org/10.1890/1051-0761\(2002\)012\[1261:NPPOAC\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1051-0761(2002)012[1261:NPPOAC]2.0.CO;2)

99. Melillo, J.M., Frey, S.D., DeAngelis, K.M., Werner, W.J., Bernard, M.J., Bowles, F.P., Pold, G., Knorr, M.A., Grandy, A.S., 2017. Long-term pattern and magnitude of soil carbon feedback to the climate system in a warming world. *Science* (80-.) 358, 101–105. <https://doi.org/10.1126/science.aan2874>

100. Latta, G., Temesgen, H., Adams, D., Barrett, T., 2010. Analysis of potential impacts of climate change on forests of the United States Pacific Northwest. *For. Ecol. Manag.* 259, 720-729. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.003>

101. Wang, W.J., He, H.S., Thompson, F.R., Fraser, J.S., Dijak, W.D., 2017.

Changes in forest biomass and tree species distribution under climate change in the northeastern United States. *Landsc. Ecol.* 32, 1399–1413. <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0429-z>

102. Marcinkowski, K., Peterson, D.L., Ettl, G.J., 2015. Nonstationary temporal response of mountain hemlock growth to climatic variability in the north cascade range, Washington, USA. *Can. J. For. Res.* 45, 676–688. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2014-0231>

103. Tyrrell, T., 2019. Redfield Ratio. *Encycl. Ocean Sci.* , pp. 461–472. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409548-9.11281-3>

104. IPCC, 2013. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change.* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA

105. Wasmund, N., Nausch, G., Gerth, M., Busch, S., Burmeister, C., Hansen, R., Sadkowiak, B., 2019. Extension of the growing season of phytoplankton in the western Baltic Sea in response to climate change. *Mar. Ecol. Prog. Ser.* 622, 1–16. <https://doi.org/10.3354/meps12994>

106. Breeggemann, J.J., Kaemingk, M.A., DeBates, T.J., Paukert, C.P., Krause, J.R., Letvin, A.P., Stevens, T.M., Willis, D.W., Chipps, S.R., 2016. Potential direct indirect effects of climate change on a shallow natural lake fish assemblage. *Ecol. Freshw. Fish* 25,487–499. <https://doi.org/10.1111/eff.12248>

107. Abbott, K.C., Harmon, J.P., Fabina, N.S., 2014. The challenge of predicting temperature effects on short-term predator-prey dynamics. *Popul. Ecol.* 56, 375–392

108. Daly, E.A., Brodeur, R.D., 2015. Warming ocean conditions relate to increased trophic requirements of threatened and endangered salmon. *PLoS One* 10, 1–23. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144066>

109. Hobbs, R.J., Higgs, E., Harris, J.A., 2009. Novel ecosystems: implications for conservation and restoration. *Trends Ecol. Evol.* 24, 599–605. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2009.05.012>

110. Rosenblatt, A.E., Schmitz, O.J., 2014. Interactive effects of multiple climate change variables on trophic interactions: a meta-analysis. *Clim. Chang. Responses* 1, 8. <https://doi.org/10.1186/s40665-014-0008-y>

111. Rosenblatt, A.E., Schmitz, O.J., 2014. Interactive effects of multiple climate change variables on trophic interactions: a meta-analysis. *Clim. Chang. Responses* 1, 8. <https://doi.org/10.1186/s40665-014-0008-y>

112. DeGregorio, B.A., Westervelt, J.D., Weatherhead, P.J., Sperry, J.H., 2015. Indirect effect of climate change: shifts in ratsnake behavior alter intensity and timing of avian nest predation. *Ecol. Model.* 312, 239–246. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2015.05.031>

113. Burgiel, S.W., Hall, T., Adams, N., Anderson, K., Bella, E., Bierwagen, B., Boroja, M., Brusati, E., Burgett, J., Carlisle, L., Cleary, R., Cleland, D., Darling, J., Draheim, R., Forest, D., Grise-Stahlman, S., Hart, S., Hatch, K., Heimowitz, P., Hoffman, J., Holcombe, T., Johnson, D., Lassuy, D., McMartin, L., Moy, P., Muir, A., Nelson, R., Pederson, J., Plumb, G., Quinn, J., Resnick, J., Savignano, D., Schmal, N., Shaw, L., Stein, B., Winter, G., Woodson, D., Wooten, D., Wullschleger, J., 2014. *Bioinvasions in a Changing World : A Resource on Invasive Species-climate Change Interactions for Conservation and Natural Resource Management*. The Aquatic Nuisance Species Task Force (ANSTF) and The National Invasive Species Council (NISC)

114. Schmitt, J.D., Peoples, B.K., Castello, L., Orth, D.J., 2019. Feeding ecology of generalist consumers: a case study of invasive blue catfish *Ictalurus furcatus* in Chesapeake Bay, Virginia, USA. *Environ. Biol. Fish* 102, 443–465. <https://doi.org/10.1007/s10641-018-0783-6>

115. Yeruham, E., Shpigel, M., Abelson, A., Rilov, G., 2020. Ocean warming and tropical invaders erode the performance of a key herbivore. *Ecology* 101, 1–13. <https://doi.org/10.1002/ecy.2925>

116. Lembrechts, J.J., Pauchard, A., Lenoir, J., Nuñez, M.A., Geron, C., Ven, A., Bravo-Monasterio, P., Teneb, E., Nijs, I., Milbau, A., 2016. Disturbance is the key to plant invasions in cold environments. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 113, 14061–

14066. [https://doi.org/ 10.1073/pnas.1608980113](https://doi.org/10.1073/pnas.1608980113)

117. Liu, Y., Oduor, A.M.O., Zhang, Z., Manea, A., Tooth, I.M., Leishman, M.R., Xu, X., van Kleunen, M., 2017. Do invasive alien plants benefit more from global environmental change than native plants? *Glob. Chang. Biol.* 23, 3363–3370. [https://doi.org/ 10.1111/gcb.13579](https://doi.org/10.1111/gcb.13579)

118. Bradley, B.A., Laginhas, B.B., Whitlock, R., Allen, J.M., Bates, A.E., Bernatchez, G., Diez, J.M., Early, R., Lenoir, J., Vilà, M., Sorte, C.J.B., 2019. Disentangling the abundance–impact relationship for invasive species. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 116, 9919–9924. <https://doi.org/10.1073/pnas.1818081116>

119. Dijkstra, J.A., Lambert, W.J., Harris, L.G., 2013. Introduced species provide a novel temporal resource that facilitates native predator population growth. *Biol. Invasions* 15, 911–919. <https://doi.org/10.1007/s10530-012-0339-1>

120. Wenger, S.J., Isaak, D.J., Luce, C.H., Neville, H.M., Fausch, K.D., Dunham, J.B., Dauwalter, D.C., Young, M.K., Elsner, M.M., Rieman, B.E., Hamlet, A.F., Williams, J.E., 2011. Flow regime, temperature, and biotic interactions drive differential declines of trout species under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 108, 14175–14180. <https://doi.org/10.1073/pnas.1103097108>

121. Clark, J.S., Iverson, L., Woodall, C.W., Allen, C.D., Bell, D.M., Bragg, D.C., D'Amato, A.W., Davis, F.W., Hersh, M.H., Ibanez, I., Jackson, S.T., Matthews, S., Pederson, N., Peters, M., Schwartz, M.W., Waring, K.M., Zimmermann, N.E., 2016. The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States. *Glob. Chang. Biol.* 22, 2329–2352. <https://doi.org/10.1111/gcb.13160>

122. Peters, M.P., Iverson, L.R., Matthews, S.N., 2015. Long-term droughtiness and drought tolerance of eastern US forests over five decades. *For. Ecol. Manag.* 345, 56–64. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.022>

123. Loehman, R.A., Keane, R.E., Holsinger, L.M., Wu, Z., 2017. Interactions of landscape disturbances and climate change dictate ecological pattern and process: spatial modeling of wildfire, insect, and disease dynamics under future climates. *Landsc. Ecol.* 32, 1447–1459. <https://doi.org/10.1007/s10980-016-0414-6>

124. Abatzoglou, J.T., Kolden, C.A., 2013. Relationships between climate and macroscale area burned in the western United States. *Int. J. Wildl. Fire* 22, 1003–1020. <https://doi.org/10.1071/WF13019>

124. Gergel, D.R., Nijssen, B., Abatzoglou, J.T., Lettenmaier, D.P., Stumbaugh, M.R., 2017. Effects of climate change on snowpack and fire potential in the western USA. *Clim. Chang.* 141, 287–299. <https://doi.org/10.1007/s10584-017-1899-y>

125. McKenzie, D., Littell, J.S., 2017. Climate change and the eco-hydrology of fire: will area burned increase in a warming western USA. *Ecol. Appl.* 27, 26–36. <https://doi.org/10.1002/eap.1420>

126. Keane, R.E., Ryan, K.C., Veblen, T.T., Allen, C.D., Logan, J., Hawkes, B., 2002. Cascading effects of fire exclusion in rocky mountain ecosystems: a literature review. USDA For. Serv.- Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR 1–27

127. Abt, K.L., Butry, D.T., Prestemon, J.P., Scranton, S., 2015. Effect of fire prevention programs on accidental and incendiary wildfires on tribal lands in the United States. *Int. J. Wildl. Fire* 24, 749–762. <https://doi.org/10.1071/WF14168>

128. Elsner, J.B., Kossin, J.P., Jagger, T.H., 2008. The increasing intensity of the strongest tropical cyclones. *Nature* 455, 92–95. <https://doi.org/10.1038/nature07234>

129. Malmstadt, J.C., Elsner, J.B., Jagger, T.H., 2010. Risk of strong hurricane winds to Florida cities. *J. Appl. Meteorol. Climatol.* 49, 2121–2132. <https://doi.org/10.1175/2010JAMC2420.1>

130. Patricola, C.M., Wehner, M.F., 2018. Anthropogenic influences on major tropical cyclone events. *Nature* 563, 339–346. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0673-2>

131. Barnett, T.P., Pierce, D.W., Hidalgo, H.G., Bonfils, C., Santer, B.D., Das, T., Bala, G., Wood, A.W., Nozawa, T., Mirin, A. a, Cayan, D.R., Dettinger, M.D., 2008. Human-induced changes United States. *Science* (80-.) 319, 1080–1083. <https://doi.org/10.1126/science.1152538>

132. Zhao, C., Liu, B., Piao, S., Wang, X., Lobell, D.B., Huang, Y., Huang, M.,

Yao, Y., Bassu, S., Ciais, P., Durand, J.L., Elliott, J., Ewert, F., Janssens, I.A., Li, T., Lin, E., Liu, Q., Martre, P., Müller, C., Peng, S., Peñuelas, J., Ruane, A.C., Wallach, D., Wang, T., Wu, D., Liu, Z., Zhu, Y., Zhu, Z., Asseng, S., 2017. Temperature increase reduces global yields of major crops in four independent estimates. *Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A.* 114, 9326–9331. <https://doi.org/10.1073/pnas.1701762114>

133. Coulston, J.W., Wear, D.N., Vose, J.M., 2015. Complex forest dynamics indicate potential for slowing carbon accumulation in the southeastern United States. *Sci. Rep.* 5, 1–6. <https://doi.org/10.1038/srep08002>

134. Arkema, K.K., Guannel, G., Verutes, G., Wood, S.A., Guerry, A., Ruckelshaus, M., Kareiva, P., Lacayo, M., Silver, J.M., 2013. Coastal habitats shield people and property from sea-level rise and storms. *Nat. Clim. Chang.* 3, 913–918. <https://doi.org/10.1038/nclimate1944>

135. Corvalan, C., Hales, S., McMichael, A., Butler, C., Campbell-Lendrum, D., Confalonieri, U., Leitner, K., Lewis, N., Patz, J., Polson, K., Scheraga, J., Woodward, A., Younes, Maged, 2005. *Ecosystems and Human Well-being: Health Synthesis, a Report of the Millennium Ecosystem Assessment*

136. Davidson, E.A., Janssens, I.A., 2006. Temperature sensitivity of soil carbon decomposition and feedbacks to climate change. *Nature* 440, 165–173. <https://doi.org/10.1038/nature04514>

137. Galloway, J.N., Townsend, A.R., Erisman, J.W., Bekunda, M., Cai, Z., Freney, J.R., Martinelli, L. a, Seitzinger, S.P., Sutton, M. a, 2008. Transformation of the nitrogen cycle: recent trends, questions, and potential solutions. *Science* (80-.) 320, 889–892

138. Hilborn, E.D., Beasley, V.R., 2015. One health and cyanobacteria in freshwater systems: animal illnesses and deaths are sentinel events for human health risks. *Toxins (Basel)* 7, 1374–1395. <https://doi.org/10.3390/toxins7041374>

139. Moore, S.K., Trainer, V.L., Mantua, N.J., Parker, M.S., Laws, E.A., Backer, L.C., Fleming, L.E., 2008. Impacts of climate variability and future climate change on harmful algal blooms and human health. *Environ. Heal. A Glob. Access Sci. Source* 7, 1–12. <https://doi.org/10.1186/1476-069X-7-S2-S4>

140. Dodgen, D., Donato, D., Kelly, N., La Greca, A., Morganstein, J., Reser, J., Ruzek, J., Schweitzer, S., Shimamoto, M.M., Tart, K.T., Ursano, R., 2016. Ch. 8: mental health and well-being. He Impacts of Climate Change on Human Health in the United States: A Scientific Assessment. U.S. Global Change Research Program, Washington, D.C., USA, pp. 217–246

141. Powell, E.J., Tyrrell, M.C., Milliken, A., Tirpak, J.M., Staudinger, M.D., 2019. A review of coastal management approaches to support the integration of ecological and human community planning for climate change. *J. Coast. Conserv.* 23. <https://doi.org/10.1007/s11852-018-0632-y>

142. Gittman, R.K., Popowich, A.M., Bruno, J.F., Peterson, C.H., 2014. Marshes with and without sills protect estuarine shorelines from erosion better than bulkheads during a category 1 hurricane. *Ocean Coast. Manag.* 102, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2014.09.016>

143. Busch, D.S., Griffis, R., Link, J., Abrams, K., Baker, J., Brainard, R.E., Ford, M., Hare, J.A., Himes-Cornell, A., Hollowed, A., Mantua, N.J., McClatchie, S., McClure, M., Nelson, M.W., Osgood, K., Peterson, J.O., Rust, M., Saba, V., Sigler, M.F., Sykora-Bodie, S., Toole, C., Thunberg, E., Waples, R.S., Merrick, R., 2016. Climate science strategy of the US National Marine Fisheries Service. *Mar. Policy* 74, 58–67. <https://doi.org/10.1016/j.marpol.2016.09.001>

144. Link, J., 2016. Ecosystem-based Fisheries Management Policy of the National Marine Fisheries Service. National Oceanic and Atmospheric Administration

145. Kemp, K.B., Blades, J.J., Klos, P.Z., Hall, T.E., Force, J.E., Morgan, P., Tinkham, W.T., 2015. Managing for climate change on federal lands of the western United States: perceived usefulness of climate science, effectiveness of adaptation strategies, and barriers to implementation. *Ecol. Soc.* 20. <https://doi.org/10.5751/ES-07522-200217>

146. Maldonado, J.K., Pandya, R.E., Colombi, B.J., 2013. Climate change and indigenous peoples in the United States: impacts, experiences, and actions. *Clim. Chang.* 120, 509–682

147. Norton-Smith, K., Lynn, K., Chief, K., Cozzetto, K., Donatuto, J., Redsteer, M.H., Kruger, L.E., Maldonado, J., Viles, C., Whyte, K.P., 2016. Climate Change and Indigenous Peoples : A Synthesis of Current Impacts and Experiences. Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-944. pp. 1–142

148. Nunez, Sarahi; Arets, Eric; Alkemade, Rob; Verwer, Caspar; Leemans, Rik (2019). "Assessing the impacts of climate change on biodiversity: Is below 2 °C enough?". *Climatic Change*. 154 (3–4): 351–365. Bibcode:2019ClCh..154..351N. doi:10.1007/s10584-019-02420-x. S2CID 181651307

149. Midgley G, Hughes G, Thuiller W, Rebelo A (2006) Migration rate limitations on climate change-induced range shifts in Cape Proteaceae. *Divers Distrib* 12:555-562. <https://doi.org/10.1111/j.1366-9516.2006.00273>

150. Hellmann F, Alkemade R, Knol OM (2016) Dispersal based climate change sensitivity scores for European species. *Ecol Indic* 71:41^46. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.06.013>

151. Pearson RG, Dawson TP (2003) Predicting the impacts of climate change on the distribution of species: are bioclimate envelope models useful? *Global Ecology and Biogeography* 12:361–371. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2003.00042.x>

152. Pearson RG et al (2006) Model-based uncertainty in species range prediction. *J Biogeogr* 33:1704–1711. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2006.01460.x>

153. Alkemade R, van Oorschot M, Miles L, Nellemann C, Bakkenes M, ten Brink B (2009) GLOBIO3: a framework to investigate options for reducing global terrestrial biodiversity loss. *Ecosystems* 12:374–390. <https://doi.org/10.1007/s10021-009-9229-5>

154. Scholes RJ, Biggs R (2005) A biodiversity intactness index. *Nature* 434:45–49. <https://doi.org/10.1038/nature03289>

155. Newbold T et al (2016) Has land use pushed terrestrial biodiversity beyond the planetary boundary? A global assessment. *Science* 353:288–291. <https://doi.org/10.1126/science.aaf2201>

156. Shoo L, Williams S, Hero J (2005) Climate warming and the rainforest

birds of the Australian wet tropics: using abundance data as a sensitive predictor of change in total population size. *Biol Conserv* 125:335–343.<https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.04.003>

157. Sekercioglu C, Schneider S, Fay J, Loarie S (2008) Climate change, elevational range shifts, and bird extinctions. *Conserv Biol* 22:140–150. <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.2007.00852.x>

158. Wiens JJ (2016) Climate-related local extinctions are already widespread among plant and animal species. *PLoS Biol* 14:e2001104

159. Johnson CN, Balmford A, Brook BW, Buettel JC, Galetti M, Guangchun L, Wilmschurst JM (2017) Biodiversity losses and conservation responses in the Anthropocene. *Science* 356:270–275.<https://doi.org/10.1126/science.aam9317>

160. Warren R, Price J, VanDerWal J, Cornelius S, Sohl H (2018) The implications of the United Nations Paris Agreement on climate change for globally significant biodiversity areas. *Clim Chang* 147:395–409.<https://doi.org/10.1007/s10584-018-2158-6>

161. van Vuuren Detal (2011) The representative concentration pathways: an overview. *Clim Chang* 109:5–31.<https://doi.org/10.1007/s10584-011-0148-z>

162. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналітична доповідь / [С.П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко]; за ред. С. П. Іванюти. – К. : НІСД, 2020. – 110 с. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://niss.gov.ua/sites/default/files/2020-10/dop-climate-final-5_sait.pdf

163. Дідух Я.П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії. *Вісник Національної академії наук України*. 2009. № 2. С. 34-44. [Електронний ресурс]. URL: <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/3405/a5-aktualno.pdf>

164. Аналіз впливу кліматичних змін на водні ресурси України (повний звіт за результатами проекту). / Сніжко С., Шевченко О., Дідовець Ю. // Центр екологічних ініціатив «Екодія», 2021, 68 с.

165. Тучковенко Ю. С., Хохлов В. М., Лобода Н. С., Кушнір Д. В., Серга Е. М. В80 Вплив змін клімату на гідрологічний і гідроекологічний режими

лиманів північно-західного Причорномор'я: монографія / за ред. Ю. С. Тучковенко. Одеса: Одеський державний екологічний університет, 2022. 202 с.

166. Осауленко О. Г., Кобилинська Т. В. Статистика зміни клімату: європейський досвід та національна оцінка: монографія. Київ: ТОВ «АвгустТрейд», 2020. 344 с.

167. Моніторинг та охорона біорізноманіття в Україні. *Прикладні аспекти моніторингу та охорони біорізноманіття*. Серія: «Conservation Biology in Ukraine». Вип. 16. Т. 3. Київ; Чернівці: Друк Арт, 2020. 528 с.

168. Методичні рекомендації для здійснення оцінки ризиків та вразливості соціально-економічних секторів та природних складових до зміни клімату (затверджені Наказом Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 03.06.2023 № 386). [Електронний ресурс]. URL: <https://mepr.gov.ua/wp-content/uploads/2023/06/386nd1.pdf>

169. Звіт про науково-дослідну роботу «Оцінка стану проблеми видів-вселенців (чужорідних тварин і рослин) в Україні та розроблення рекомендацій щодо законодавчих і організаційних засад врегулювання та створення системи контролю за інтродукцією і поширенням таких організмів на території України відповідно до вимог Конвенції про біологічне різноманіття та рішень її керівних органів (заключний). УКРНДІЕП, Харків, 2015. 318 с.

170. Звіт про науково-дослідну роботу «Наукове обґрунтування переліку водних екосистем, які забезпечують основні екосистемні послуги та порядок здійснення оцінки вартісної цінності їх біорізноманіття та розроблення рекомендацій щодо відновлення і збереження цих екосистем». I етап. УКРНДІЕП, Харків, 2017. 518 с.

171. Звіт про науково-дослідну роботу «Наукове обґрунтування переліку водних екосистем, які забезпечують основні екосистемні послуги та порядок здійснення оцінки вартісної цінності їх біорізноманіття та розроблення рекомендацій щодо відновлення і збереження цих екосистем». II етап. УКРНДІЕП, Харків, 2018. 368 с.

172. О.Г. Васенко, Г.Ю. Міланіч. Оцінка екосистемних послуг водних об'єктів України. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*: зб. наук. пр. /УКРНДІЕП; ХНУ імені В.Н. Каразіна. Х.: ПП «Стиль-Іздат», 2018. Вип. 40. С. 71-84.

173. О. Г. Васенко, І. В. Зінченко, Г. Ю. Міланіч, К. О. Цитлішвілі. Основні причини, наслідки й протидії змінам клімату в Україні та світі. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*: зб. наук. пр. УКРНДІЕП; ХНУ імені В. Н. Каразіна. Х.: ПП «Стиль-Іздат», 2022. Вип.44. С. 19-28.

174. О. Г. Васенко, Т. В. Божко. Методологічні основи побудови ретроспективних екстраполяційно-прогнозних моделей водних екосистем на основі біоіндикаційної оцінки. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2019. Вип. 41. С. 33–45.

175. А.О. Васенко, О.В. Козловська Удосконалення системи запобігання та мінімізації інвазійних явищ в Україні. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*: зб. наук. пр. УКРНДІЕП; ХНУ імені В.Н. Каразіна. Х.: ПП «Стиль-Іздат», 2018. Вип. 40. С. 54-70.

176. О. Г. Васенко, Г. Ю. Міланіч, О. В. Козловська Оцінка стану проблеми видів-вселенців (чужорідних тварин і рослин) в Україні та світі, рекомендації щодо контролю таких організмів на законодавчому й організаційному рівні. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки*. 2016. Вип. 38. С. 74-88.

177. О.Г. Васенко, Д.Ю. Верниченко-Цветков, О.В. Козловська Стійкість екосистем як складова оцінки екологічного ризику. *Екологія та промисловість*: наук.-виробн. журналю 2017: (2). С. 102 –109.

178. Васенко О.Г., Козловська О.В. Оцінка уразливості екосистем водних об'єктів при визначенні екологічних ризиків. *Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2017*: зб. тез доповідей XX Міжнародної науково-практичної конференції, присвяченої 10-річчю створення екологічного факультету (Харків,

19-22 квітня 2017 року). Х.: ХНУ ім. В.Н. Каразіна, 2017. С. 43-44.

179. Методика уніфікованої оцінки рівня екологічної безпеки територій / А. В. Гриценко, О. Г. Васенко, Д. Ю. Верниченко-Цветков, О. В. Козловська, О. В. Поддашкін. Х.: УкрНДІЕП. 2019. 59 с.

180. Звіт про науково-дослідну роботу «Розроблення методики уніфікованої оцінки рівня екологічної безпеки територій та інтегрального показника негативного впливу об'єкта на навколишнє природне середовище». І етап. Х.: УкрНДІЕП, 2018. 174 с.

181. Звіт про науково-дослідну роботу «Розробка методичного керівництва щодо ведення спеціального додаткового моніторингу акваторій, на яких відбувається значне розмноження інвазійних видів гідробіонтів» (заключний). Х.: УКРНДІЕП, 2015. 257 с.

Розділ 4

1. Інтегральні та комплексні оцінки стану навколишнього природного середовища: монографія / О.Г. Васенко, О.В. Рибалова, С.Р. Артем'єв, Н.С. Горбань, Г.В. Коробкова, В.О. Полозенцева, А.І. Юрченко, А.І. Бреславець, О.В. Козловська, А.О. Мацак, А.А. Савічев. Х: НУГЗУ, 2015. 419 с.

2. Laurila-Pant , M , Lehtikoinen , A , Uusitalo , L & Venesjärvi , R 2015 , ' How to value biodiversity in environmental management? ' Ecological Indicators , vol 55 , pp. 1-11.

3. de Groot, R., Brander, L., Ploeg, S., Costanza, R., Bernard, F., Braat, L., Beukering, P. J. H. (2012). Global estimates of the value of ecosystems and their services in monetary units, Ecosystem Services. Ecosystem Services, 1(1), 50-61.

4. The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB), 2010. [Електронний ресурс]. URL: http://ec.europa.eu/environment/nature/biodiversity/economics/pdf/teeb_report.pdf

5. Вишневецький В.І. Річки і водойми України. Стан і використання: Монографія. К.: Віпол, 2000. 376 с.

6. Природно-заповідний фонд Волинської області: наук.-популяр. вид. / упоряд. М. Химин. Луцьк: Ініціал, 1999. С. 6-10.

7. Водна Рамкова Директива ЄС (ВРД) – Директива 2000/60/ЄС Європейського Парламенту і Ради «Про встановлення рамок діяльності Співтовариства в галузі водної політики» від 23 жовтня 2000 року. [Електронний ресурс]. URL: http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/994_962/

Розділ 5

1. Zahabiyoun B., Goodarzi M., Bavani A.M., Azamathulla H.M. Assessment of climate change impact on the Gharesou River Basin using SWAT hydrological model. *CLEAN Soil Air Water*. 2013. 41(6). 601–609. DOI: 10.1002/clen.201100652.

2. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Core Writing Team, Pachauri, R.K., Meyer, L.A., Eds.; IPCC: Geneva, Switzerland, 2014. p. 151. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_Front_matters.pdf

3. IPCC. Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Pörtner H.-O., Roberts, D., Tignor M., Poloczanska E., Mintenbeck K., Alegría A., Craig M., Langsdorf S., Löschke S., Möller V., et al., Eds.] Cambridge University Press: Cambridge, UK, 2022. 3056 pp. DOI:10.1017/9781009325844.

4. Taylor R., Scanlon B., Döll P., Rodell M., Van Beek R., Wada Y., Longuevergne L., Leblanc M., Famiglietti J.; Edmunds M. Ground water and climate change. *Nat. Clim. Chang.* 2013, 3, 322–329. DOI: 10.1038/nclimate1744

5. IPCC. Climate Change 2007: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, Pachauri R.K., Reisinger A., Eds.] IPCC: Geneva, Switzerland, 2007. p. 104. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/ar4_syr_full_report.pdf

6. Soltani F., Javadi S., Roozbahani A., Reza Massah Bavani A., Golmohammadi G., Berndtsson R., Ghordoyee Milan S., Maghsoud Assessing R.. Climate Change Impact on Water Balance Components Using Integrated Groundwater–Surface Water Models (Case Study: Shazand Plain, Iran). *Water* 2023, 15(4), 813. doi: 10.3390/w15040813

7. Тараріко Ю.О., Сайдак Р.В., Сорока Ю.В., Вітвіцький С.В. Районування території України за рівнем забезпеченості гідротермічними ресурсами та обсягами використання сільськогосподарських меліорацій. Київ: ЦП «Компринт». 2015. 62 с

8. Ромащенко М.І, Гусев Ю.В., Шатковський А.П. Вплив сучасних кліматичних змін на водні ресурси та сільськогосподарське виробництво. *Меліорація і водне господарство*. № 5. 2020, 5-21.

9. Climate Risk Assessment for Ecosystem-based Adaptation A guidebook for planners and practitioners, URL: <https://www.adaptationcommunity.net/wp-content/uploads/2018/06/giz-eurac-unu-2018-en-guidebook-climate-risk-asesment-eba.pdf>

10. Глобальні зміни клімату: парниковий ефект. В.М. Тимчук [Електронний ресурс]. URL: https://agro--business-com-ua.translate.goog/agro/idei-trendy/item/8376-hlobalni-zminy-klimatu-parnykovyi-efekt.html?_x_tr_sch=http&_x_tr_sl=uk&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=s

11. В. І. Лялько, Л. О. Єлістратова, М.І. Кульбіда, О.А. Апостолов, М.Б. Барабаш. *Український журнал дистанційного зондування Землі*. 2015. № 6. С. 33-63. [Електронний ресурс]. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ukjdzz_2015_6_7

12. Зміни клімату як фактор змін біорізноманіття. [Електронний ресурс]. URL: https://studopedia.su/8_59416_zmini-klimatu-yak-faktor-zmin-bioriznomanittya.html

13. Climate Change and Water UN-Water Policy Brief Climate Change and Water UN-Water Policy Brief. [Електронний ресурс]. URL: https://unece.org/sites/default/files/2021-08/UN_Water_PolicyBrief_ClimateChange_Water.pdf

14. Уваєва О.І., Коцюба І.Г., Єльнікова Т.О. Гідробіологія: навчальний посібник. Житомир: Державний університет «Житомирська політехніка», 2020. 196 с.
15. Бедернічек Т. Ю. Вуглець, ґрунт і парникові гази. 2021. [Електронний ресурс]. URL: https://uncg.org.ua/wp-content/uploads/2021/12/Vuhlets-hrunt_2021.pdf
16. Зміна клімату впливає на якість ґрунту на Землі. 2020. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.growhow.in.ua/zmina-klimatu-vplyvaie-na-iakist-gruntu-na-zemli/>
17. В центрі уваги – природа та біорізноманіття. UN environment programme. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/news/spotlight-nature-and-biodiversity>
18. Біорізноманіття: всі рішення закладено природою. UN environment programme. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.unep.org/news-and-stories/story/biodiversity-our-solutions-are-nature>
19. Проєкт Національного кадастру антропогенних викидів із джерел та абсорбції поглиначами парникових газів в Україні за 1990 – 2020 роки (англ. мовою відповідно до вимог Секретаріату Рамкової конвенції ООН про зміну клімату) для публічного ознайомлення та отримання зауважень і пропозицій. [Електронний ресурс]. URL: <https://mepr.gov.ua/news/39033.html>
20. “Food wastage footprint&Climat Chang” <http://www.fao.org/3/a-bb144e.pdf> Food Wastage Footprint & Climate Change November URL: https://www.researchgate.net/publication/337199031_Food_Wastage_Footprint_Climate_Change_2015
21. GREEN PAPER On the management of bio-waste in the European Union COMMISSION OF THE EUROPEAN COMMUNITIES Brussels, 3.12.2008 COM(2008) 811 final. URL: <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=COM:2008:0811:FIN:EN:PDF>
22. Дмитренко Л.В., Березницька М.В., Барандич С.Л. Результати інвентаризації парникових газів у секторі «відходи» для національного кадастру

парникових газів. 2007. [Електронний ресурс]. URL: https://uhmi.org.ua/pub/np/256/6_Dmytrenko_Berezn.pdf

23. В.М. Тимчук Глобальні зміни клімату: парниковий ефект. [Електронний ресурс]. URL: https://agro--business-com-ua.translate.goog/agro/idei-trendy/item/8376-hlobalni-zminy-klimatu-parnykovyi-efekt.html?_x_tr_sch=http&_x_tr_sl=uk&_x_tr_tl=ru&_x_tr_hl=ru&_x_tr_pto=s

24. Звалищний газ. Biteco. 2019. [Електронний ресурс]. URL: <https://biteco-energy.com/ua/help/1576071705/id40/>

25. Umar T. (2021). Sustainable Energy Production from Municipal Solid Waste in Oman. Proc. Inst. Civil Eng. – Eng. Sustainability 2100040, 1–9. 10.1680/jensu.21.00040

26. Estimating Greenhouse Gas (GHG) Emissions from Municipal Solid Waste (Msw) in Oman Using Different Frameworks. J. Solid waste Technol. Manag. 47 (2), 332–348. 10.5276/jswtm/2021.332

27. According to Annex II of the Waste Framework Directive, incineration facilities dedicated to the processing of MSW are regarded as recovery operation only where their energy efficiency is equal to or above 0.60 for installations in operation before 1 January 2009 and 0.65 for installations permitted after 31 December 2008

28. Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market

29. European Commission, Proposal for a Directive of the European Parliament and of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources, Brussels, 2008

30. ORBIT/ECN, 2008 / Moving Organic Waste Recycling Towards Resource Management and Biobased Economy. Conference Proceedings. URL: www.researchgate.net/profile/Marina-Rodriguez-Diaz/publication/266509055_EFFECT_OF_URBAN_SEWAGE_SLUDGE_COMPOST_ON_BACTERIAL_BIODIVERSITY_AND_SOIL_ENZYMATIC_ACTIVITIES/links/5433c4620cf2dc

341dada0b3/EFFECT-OF-URBAN-SEWAGE-SLUDGE-COMPOST-ON-BACTERIAL-BIODIVERSITY-AND-SOIL-ENZYMATIC-ACTIVITIES.pdf

31. Papafilippaki, A.; Paranychianakis, N.V.; Nikolaidis, N.P. Effects of soil type and municipal solid waste compost as soil amendment on *Cichorium spinosum* (spiny chicory) growth. *Sci. Hortic.* 2015, 195, 195-205.

32. Papafilippaki, A.; Paranychianakis, N.V.; Nikolaidis, N.P. Effects of soil type and municipal solid waste compost as soil amendment on *Cichorium spinosum* (spiny chicory) growth. *Sci. Hortic.* 2015, 195, 195–205

33. Сучасне керування відходами відповідно до принципів циркулярної економіки: Посібник курсу ZWA deep level; 2021, 138 С. [Електронний ресурс]. URL: <https://zerowastekharkiv.org.ua/wp-content/uploads/2021/12/posybnic-lekciye-book-5.pdf>

34. Sahar H. El Abbadi, Evan D. Sherwin, Adam R. Brandt, Stephen P. Luby & Craig S. Criddle Displacing fishmeal with protein derived from stranded methane *Nature Sustainability* volume 5 pages 47–56 (2022) URL: <https://www.nature.com/articles/s41893-021-00796-2>

35. Спосіб дослідження якості біологічного очищення стічних вод з використанням комплексного лабораторного устаткування: пат. 142646 Україна : МПК (2006.01) C02F 3/02. № u 2019 10647; заявл. 28.10.2019; опубл. 25.06.2020, Бюл. № 12.

36. Цитлішвілі К.О., Проскурнін О.А. Забезпечення екологічної безпеки скидання стічних вод підприємств харчової промисловості. *Науковий вісник будівництва*, ХНУБА. 2019. № 2(96), Т. 2. С. 335-341. DOI: 10.29295/2311-7257-2019-96-2-335-341.

37. Цитлішвілі К.О., Зінченко І.В., Бабіч О.В. Дослідження впливу екологічних чинників на перетворення азотовмісних сполук іммобілізованим мікробіоценозом при обробці стічних вод в лабораторному біореакторі у проточних умовах. *Екологічна безпека: Проблеми і шляхи вирішення*. Збірник наукових статей XV міжнар. науково-практичн. Конф. (14-18 вересня 2020 р.). м. Харків, Україна, 276-280 с.

38. Цитлішвілі К.А. Видалення сполук азоту і фосфору з стічних вод підприємств харчової промисловості. *Екологія і промисловість*. ДП «УкрНТЦ «Енергосталь». 2018. № 3-4, Т. 56-57. С. 51-56.

39. О.В. Бабіч, І.В. Зінченко, К.О. Цитлішвілі, О.В. Савцова, Н.С. Цапко Очищення та знезараження висококонцентрованих стічних вод за допомогою технологій AOPs V. *Вода. Екологія. Суспільство: Міжнародна науково-технічна конференція (1 – 2 жовтня 2020 р., м. Харків)*. ХНУМГ ім. О.М. Бекетова, 2020. С. 94 - 98.

40. І. В. Зінченко, Г. В. Таран, К. О. Цитлішвілі, О. В. Бабіч, О. Ю. Шостенко Очищення стічних вод харчових виробництв за допомогою комбінування методів озонування і біосорбційного оброблення. *Проблеми охорони навколишнього природного середовища та екологічної безпеки: зб. наук. пр. / УКРНДІЕП; ХНУ імені В. Н. Каразіна. Х.: ПП «Стиль-Іздат», 2020. Вип. 42. С. 135-143*

41. Гриценко А.В., Зінченко І.В., Цитлішвілі К.О., Бабіч О.В. Коробкова Г. В. Інтенсифікація процесу біологічного очищення стічних вод на урбанізованих територіях з використанням різних видів матеріалів для іммобілізації біоценозу. *Інноваційні технології в архітектурі і дизайні: Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції*. Харків: ХНУБА, 2021. 690 с (638-639)

42. Звіт про науково-дослідну роботу за темою № 30/1.6-21 «Розроблення рекомендацій щодо попередження забруднення водних екосистем концентрованими стічними водами харчової промисловості» (остаточний). Харків, 2021

43. Цитлішвілі К. О. Екологія іммобілізованого азоттрансформуючого мікробіоценозу в системах очистки стічних вод: дис. доктора філософії (Ph.D): за спеціальністю 101 «Екологія» (10 – Природничі науки). Харків, 2021. 187 с.

44. Зінченко І.В., Бабіч О.В., Шостенко О.Ю., Кононенко К.С., Ангїна Л.С., Цитлішвілі К.О. Сучасні технології очистки стічних вод, які містять органічні сполуки, що важко розкладаються. *Екологічна безпека: проблеми і шляхи*

вирішення: зб. наук. статей XVIII Міжнародної науково-практичної конференції (м. Харків, 15-16 вересня 2022 р.) / УКРНДІЕП, 2022. 396 с.

45. Food and Climate Change: Healthy diets for a healthier planet <https://www.un.org/en/climatechange/science/climate-issues/food>.

46. Poore, J., & Nemecek, T. (2018). Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. *Science*, 360(6392), 987-992.

47. Our World in Data: Environmental Impacts of Food Production <https://ourworldindata.org/environmental-impacts-of-food>.

48. Guo X., Broeze J., Groot J.J., Axmann H., Vollebregt M. (2020). A worldwide hotspot analysis on food loss and waste, associated greenhouse gas emissions, and protein losses. *Sustainability*, no. 12, p. 7488. Available at: <https://doi.org/10.3390/su12187488>.

49. Hamerschlag, K.; Venkat, K. *Meat Eater's Guide to Climate Change+ Health: Lifecycle Assessments: Methodology and Results 2011*; Environmental Working Group: Washington, DC, USA, 2011.

50. Cellura, M.; Longo, S.; Mistretta, M. Life Cycle Assessment (LCA) of protected crops: An Italian case study. *J. Clean. Prod.* 2012, 28, 56–62.

51. Scherhauser, S.; Lebersorger, S.; Pertl, A.; Obersteiner, G.; Schneider, F.; Falasconi, L.; De Menna, F.; Vittuari, M.; Hartikainen, H.; Katajajuuri, J.-M. *Criteria for and Baseline Assessment of Environmental and Socio-Economic Impacts of Food Waste*; BOKU University of Natural Resources and Life Sciences, Institute of Waste Management: Vienna, Austria, 2015.

52. Спрингманн, М.; Кларк, М.; Мейсон-Д'Кроз, Д.; Вибе, К.; Бодирський, Б.Л.; Лассалетта, Л.; Де Врис, В.; Вермюлен, С.Дж.; Ерреро, М.; Карлсон, К.М. Варіанти збереження продовольчої системи у межах екологічних обмежень. *Природа*. 2018, 562, 519-525.

53. Інтегроване управління та поводження з твердими побутовими відходами у Вінницькій області. Монографія / Під ред. В. Г. Петрука. Вінниця: УНІВЕРСУМ. Вінниця, 2007. 160с.

54. Park J. W., Shin, H. C. Surface emission of landfill gas from solid waste landfill. *Atmospheric Environment*. 2001. 35 20, 3445-3451. [https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(01\)00118-2](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(01)00118-2)
55. Brewsters Waste Management. URL: <https://brewsterswaste.co.uk/filling-you-in-on-the-landfill-problem/>
56. Barnosky B.D., Hadley E.A., Bell. C.J. Mammalian response to global warming on varied temporal scales. *Journal of Mammology*. 2003. 84 (2): 354-368. DOI: 10.1644/1545-1542(2003)084<0354:MRTGWO>2.0.CO;2
57. Albouy C., Delattre V., Donati G., L. Frölicher Th., Albouy-Boyer S., Rufino M., Pellissier L., Mouillot D., Leprieur F. Global vulnerability of marine mammals to global arming. *Scientific Reports*. 2020. 10. Article number: 548 <https://www.nature.com/articles/s41598-019-57280-3>
58. McCarty P.L., Hughes, D.E. et.al. Anaerobic Digestion 1981. *Elsevier Biomedical Press*, 1982. 3-22
59. Sánchez A., Artola A., Font X. et al. Greenhouse Gas from Organic Waste Composting: Emissions and Measurement, *CO2 Sequestration, Biofuels and Depollution*. 2015. 34-64. DOI: 10.1007/978-3-319-11906-9_2
60. Review Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States Sarah R. Weiskopf, Madeleine A. Rubenstein, Lisa G. Crozier et al. /*Science of the Total Environment* Science of the Total Environment 733 (2020) 137782
61. Muhammad Shaaban, Muhammad, Salman Khalid, Ronggui Hu, Minghua Zhou Effects of water regimes on soil N₂O, CH₄ and CO₂ emissions following addition of dicyandiamide and N fertilizer B *Environmental Research* Volume 212, Part D, September 2022, 113544
62. Muhammad Shaaban, Muhammad, Salman Khalid, Ronggui Hu, Minghua Zhou Effects of water regimes on soil N₂O, CH₄ and CO₂ emissions following addition of dicyandiamide and N fertilizer B *Environmental Research* Volume 212, Part D, September 2022, 113544

63. Rui Yin, Julia Siebert, Nico Eisenhauer, Martin Schädler (2020). Climate change and intensive land use reduce soil animal biomass via dissimilar pathways. <https://doi.org/10.7554/eLife.54749>

64. World Bank (2023). World Development Indicators. Available online at: <https://data.worldbank.org/data-catalog/world-development-indicators>

65. Madeleine A. Rubenstein, Lisa G. Crozier et al. Climate change effects on biodiversity, ecosystems, ecosystem services, and natural resource management in the United States Sarah R. Weiskopf / Science of The Total Environment Volume 733, 1 September 2020, 137782

66. Food Wastage Footprint & Climate Change November Код доступу: https://www.researchgate.net/publication/337199031_Food_Wastage_Footprint_Climate_Change 2015

67. Дмитренко Л.В., Березницкая М.В., Барандич С.Л. Результати інвентаризації парникових газів в секторі «відходи» для національного кадастру парникових газів. 2007. [Електронний ресурс]. URL: https://uhmi.org.ua/pub/np/256/6_Dmytrenko_Berezn.pdf

68. Barnosky B.D., Hadley E.A., Bell. C.J. Mammalian response to global warming on varied temporal scales. *Journal of Mammology*. 2003. 84 (2): 354-368

69. Albouy C., Delattre V., Donati G., L. Frölicher Th., Albouy-Boyer S., Rufino M., Pellissier L., Mouillot D., Leprieur F. Global vulnerability of marine mammals to global arming. *Scientific Reports*. 2020. 10. Article number: 548 URL: <https://www.nature.com/articles/s41598-019-57280-3>

70. Springmann, M.; Clark, M.; Mason-D'Croze, et al. Options for maintaining the food system within environmental limits / *Nature* 2018, 562, 519–525

71. Waste Management Options and Climate Change Final report to the European Commission, DG Environment Alison Smith Keith Brown Steve Ogilvie Kathryn Rushton Judith Bates July

72. Directive 2001/77/EC of the European Parliament and of the Council of 27 September 2001 on the promotion of electricity produced from renewable energy sources in the internal electricity market

73. Antoni Sánchez et al. Chapter 2 Greenhouse Gas from Organic Waste Composting: Emissions and Measurement/ In book: CO₂ Sequestration, Biofuels and Depollution 2015 (pp. 34-64)

74. Directive 1999/31/EC of 26 April 1999 the Landfill Directive

75. Directive 2008/98/EC of the European Parliament and of the Council of 19 November 2008 on waste and repealing certain Directives

76. Про управління відходами: Закон України від 20.06.2022 № 2320-IX [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2320-20#Text>

77. Національний план управління відходами до 2030 року, затверджено КМУ від 20 лютого 2019 р. № 117-р. [Електронний ресурс]. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/117-2019-%D1%80#Text>

ДОДАТКИ

ЗАТВЕРДЖЕНО:
 Директор УКРНДІЕП

 Анатолій ГРИЦЕНКО
 « 20 » 09 2022 р.



**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ
 на виконання прикладної наукової роботи
 за темою № 16**

1. Найменування прикладної наукової роботи

Здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату.

2. Підстава виконання

Пункт 9 Операційного плану реалізації у 2022 - 2024 роках Стратегії екологічної безпеки та адаптації до змін клімату на період до 2030 року, затвердженої розпорядженням КМУ від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р.;

Конвенція про охорону біологічного різноманіття (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.), ратифікована Законом України № 257/94-ВР від 29.11.94.

3. Основні завдання

Мета роботи: здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату.

Актуальність роботи визначається глобальними змінами клімату та необхідністю протидії зростанню ризиків для біорізноманіття, дотримання вимог Конвенції про біологічне різноманіття. Збереження біорізноманіття є однією з основ нормального функціонування та стійкості екосистем, більшість яких в Україні й світі перебувають у незадовільному стані через надмірне антропогенне навантаження, а в останні десятиліття – також внаслідок зміни клімату. У теперішній час зростає актуальність здійснення оцінки ризиків для біорізноманіття, пов'язаних зі змінами клімату, розроблення й впровадження заходів щодо їх протидії та попередження на організаційному, економічному, екологічному рівнях.

Основні завдання:

Буде здійснено огляд сучасного стану біорізноманіття в Україні та світі;
 проведено аналіз наявної інформації стосовно впливу зміни клімату на біорізноманіття;
 визначено основні ризики зміни клімату для біорізноманіття;
 проаналізовано вітчизняний та закордонний досвід щодо оцінки ризиків зміни клімату для біорізноманіття;
 визначено основні складові та порядок оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату;
 виконано оцінку впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах;
 здійснено оцінку ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату;
 розроблено рекомендації щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття.

4. Вихідні данні

НДР продовжує та доповнює результати досліджень, які проводилися при виконанні робіт «Оцінка стану проблеми видів-вселенців (чужорідних тварин і рослин) в Україні та розроблення рекомендацій щодо законодавчих і організаційних засад врегулювання та створення системи контролю за інтродукцією і поширенням таких організмів на території України відповідно до вимог Конвенції про біологічне різноманіття», «Наукове обґрунтування переліку водних екосистем, які забезпечують основні екосистемні послуги, та порядок оцінки вартісної цінності їх біорізноманіття, розроблення рекомендацій щодо відновлення і збереження цих екосистем».

Дослідження виконується відповідно Пункту 9 Операційного плану реалізації у 2022 - 2024 роках Стратегії екологічної безпеки та адаптації до змін клімату на період до 2030 року, затвердженої розпорядженням КМУ від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р.; Конвенції про охорону біологічного різноманіття (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.), ратифікованої Законом України № 257/94-ВР від 29.11.94.

5. Основні результати

Основний результат – здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату.

Впровадження результатів роботи:

Результати НДР будуть передані для використання та впровадження до Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України. Оцінка ризиків зміни клімату для біорізноманіття та вжиття заходів щодо зниження таких ризиків сприятиме зменшенню вразливості біорізноманіття та його збереженню, покращенню стану екосистем.

Еколого-економічний ефект роботи:

Створення умов для збереження біорізноманіття та покращення стану екосистем завдяки здійсненню оцінки ризиків зміни клімату для біорізноманіття та впровадженню заходів щодо зниження ризиків і вразливості біорізноманіття до змін клімату на організаційному, економічному, екологічному рівнях.

Вплив на зовнішнє середовище. Екологізація:

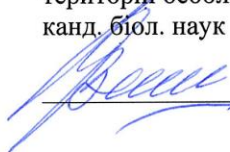
Збереження біорізноманіття завдяки підвищенню його стійкості до зміни клімату, покращення стану екосистем.

6. Етапи прикладної наукової роботи та терміни виконання

№ з/п	Найменування етапу	Термін складання звіту/термін презентації	Очікувані результати
1	Огляд сучасного стану біорізноманіття в Україні та світі. Аналіз наявної інформації стосовно впливу зміни клімату на біорізноманіття. Вибір показників ризику за кліматичними факторами для оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах.	Листопад 2022 р./ грудень 2022р.	Проміжний звіт, що містить огляд сучасного стану біорізноманіття в Україні та світі, аналіз наявної інформації стосовно впливу зміни клімату на біорізноманіття; визначені показники ризику за кліматичними факторами для оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту і відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах.

2	<p>Визначення основних ризиків зміни клімату для біорізноманіття. Аналіз вітчизняного та закордонного досвіду щодо оцінки ризиків зміни клімату для біорізноманіття.</p> <p>Визначення основних складових і порядку оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату.</p> <p>Визначення цілей, обсягів оцінки кліматичних ризиків для оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах, оцінювання вихідної ситуації.</p>	Листопад 2023 р./ грудень 2023р.	Проміжний звіт, що містить визначені основні ризики зміни клімату для біорізноманіття; аналіз вітчизняного та закордонного досвіду щодо оцінки ризиків зміни клімату для біорізноманіття; основні складові й порядок оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату; визначені цілі, обсяги оцінки кліматичних ризиків для оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах, оцінювання вихідної ситуації.
3	<p>Здійснення оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату. Складання плану проведення оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах.</p> <p>Розроблення рекомендацій щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття.</p>	Листопад 2024 р./ грудень 2024р.	Заключний звіт, що містить оцінку ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату; оцінку впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах; рекомендації щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття.

Науковий керівник,
перший заступник директора з наукової роботи,
завідувач лабораторії досліджень екологічної
стійкості об'єктів довкілля та природних
територій особливої охорони,
канд. біол. наук



Олександр ВАСЕНКО

РЕЦЕНЗІЯ

**на звіт про науково-дослідну роботу за темою
«Здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття
до зміни клімату» (остаточний)
(науковий керівник О.Г. Васенко)**

На рецензію надано: 1) заключний звіт; 2) технічне завдання на проведення зазначеної НДР; 3) календарний план виконання роботи.

НДР виконана на замовлення Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України згідно з Пунктом 9 Операційного плану реалізації у 2022 – 2024 роках Стратегії екологічної безпеки та адаптації до змін клімату на період до 2030 року, затвердженої розпорядженням КМУ від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р. Виконавці – колектив науковців та інженерів УКРНДІЕП. Організації-співвиконавці відсутні.

НДР продовжує та доповнює результати досліджень, що проводились авторами під час виконання робіт подібної тематики у попередні роки.

Мета роботи полягає у здійсненні оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату.

Збереження біорізноманіття є однією з основ нормального функціонування та стійкості екосистем, більшість яких в Україні й світі перебувають у незадовільному стані через надмірне антропогенне навантаження, а в останні десятиліття – також внаслідок зміни клімату.

Виконання НДР «Здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату» розраховано на 3 етапи (2022 – 2024 рр.). Даний науковий звіт є заключним III етапом.

У рецензованій роботі проаналізовано сучасний стан біорізноманіття в Україні та світі (у тому числі іхтіофауни). Узагальнено інформацію щодо впливу зміни клімату на біорізноманіття, основних ризиків зміни клімату, здійснення оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату.

Зазначено, що в Україні зміна клімату призводить до потепління, посух, зниження водності річок та перерозподілу опадів, підняття рівня

Чорного та Азовського морів. Крім того, зміна клімату спричиняє опосередкований вплив на гідрохімічний режим акваторій, стан природної кормової бази, структуру іхтіценозів, умови відтворення й поповнення природних популяцій гідробіонтів. Зміна клімату суттєво впливає на окремі види і популяції організмів та середовище їх проживання, що змінює структуру та функції екосистем, а також товари та послуги, які природні системи надають суспільству.

Акцентовано, що Україна робить усе можливе для створення адекватного потенціалу, достатнього для здійснення пріоритетних заходів у рамках національних стратегій та планів дій щодо збереження біорізноманіття. У країні впроваджується екосистемний підхід до визначення цінності біорізноманіття, удосконалюється законодавча база в галузі його охорони, збереження та сталого використання, постійно здійснюються заходи, спрямовані на поліпшення стану різноманіття флори і фауни.

У звіті наведено головні підходи до оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до змін клімату, серед яких оцінка на основі екологічних характеристик (стійкість екосистем, чутливість видів, здатність до адаптації), сценаріїв змін клімату, територіального підходу, інтегрована оцінка, оцінки за допомогою індикаторів та індексів вразливості, екосистемних послуг, ГІС тощо.

Значна частина звіту присвячена визначенню цілей, обсягів оцінки кліматичних ризиків для оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах, що має суттєвий вплив на біорізноманіття. Розроблено план проведення оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів, який складається з організації моніторингу щодо утворення БРВ; забезпечення роздільного збирання БРВ; визначення обсягів БРВ, що утворилися; оцінювання морфологічного і хімічного складу БРВ; визначення впливу на складові довкілля; вибору найкращого методу знешкодження/перероблення БРВ; прийняття рішення щодо методів знешкодження/

перероблення БРВ.

Розроблено рекомендації щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття.

Оцінюючи в цілому проведену роботу, слід відзначити її актуальність та важливе наукове й прикладне значення. Матеріали звіту сприятимуть збереженню біорізноманіття й покращенню стану екосистем шляхом оцінки ризиків зміни клімату для біорізноманіття та вжиття заходів щодо їх зниження.


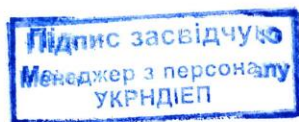
Науково-дослідна робота «Здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату» виконана згідно з Планом науково-дослідних робіт УКРНДІЕП на 2024 р., відповідає Технічному завданню і може бути рекомендована для розгляду на Вченій раді УКРНДІЕП. Зауважень немає.

Рецензент:

Завідувач сектору досліджень
територій особливої охорони
лабораторії досліджень екологічної
стійкості об'єктів довкілля
та природних територій
особливої охорони,
канд. геогр. наук, доц.



О.В. Клімов



РЕЦЕНЗІЯ

на звіт про науково-дослідну роботу за темою
«Здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату»

На рецензію надано: остаточний звіт про науково-дослідну роботу та технічне завдання на проведення зазначеної НДР.

Науковий керівник: кандидат біологічних наук, завідувач лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони, заступник директора УКРНДІЕП Васенко О.Г.

Звіт третього етапу НДР «Здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату» виконано згідно з Планом прикладних наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок УКРНДІЕП за бюджетною програмою КПКВК 2701040 «Наукова і науково-технічна діяльність у сфері захисту довкілля та природних ресурсів» на 2022 – 2024 роки.

Актуальність роботи визначається глобальними змінами клімату та необхідністю протидії зростанню ризиків для біорізноманіття, дотримання вимог Конвенції про біологічне різноманіття.

У теперішній час зростає актуальність здійснення оцінки ризиків для біорізноманіття, пов'язаних зі змінами клімату, розроблення й впровадження заходів стосовно їх пом'якшення та попередження на організаційному, економічному і екологічному рівнях.

Метою роботи є здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату.

Виконання НДР «Здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату» розраховано на 3 роки (2022 – 2024 рр.). Даний науковий звіт є остаточним. Він складається з вступу, шести розділів і висновків.

У першому розділі узагальнено інформацію щодо стану біорізноманіття в Україні та світі, основних загроз для біологічного різноманіття, міжнародних угод з питань охорони, відновлення та

збереження біорізноманіття.

У другому розділі структуровано інформацію щодо основних причин та наслідків впливу зміни клімату на біорізноманіття. Зазначено, що кліматичні умови та кліматичні ризики вважаються визначальним фактором щодо змін біорізноманіття і у майбутньому структуру біологічних угруповань може докорінно змінитись – залишаться лише ті види, які зможуть адаптуватися до нових умов. Сформульовано, що наслідками зміни клімату в Україні є: потепління, посухи, зниження водності річок та перерозподіл опадів, підняття рівня Чорного та Азовського морів.

У третьому розділі визначено основні ризики зміни клімату для біорізноманіття, методологічні підходи для їх оцінки, здійснено мета-аналіз реакції розподілу видів на зміну клімату. Наведено методики оцінки кліматичних ризиків для біорізноманіття, розроблені українськими дослідниками.

У четвертому розділі визначено основні складові і порядок оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до змін клімату. Акцентовано, що найважливішими факторами, пов'язаними зі змінами клімату навколишнього середовища, які мають вплив на стан, розвиток і різноманіття біологічних систем, є температура довкілля, світло (сонячна енергія, радіація), вода (вологість) та повітря (хімічний і фізичний склад, рух повітря). Будь-які зміни (відхилення від сталих характеристик) негативно впливають на чисельність та різноманітність більшості видів флори й фауни.

У п'ятому розділі здійснено оцінку впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах; розроблено план проведення такої оцінки; наведено інформацію щодо еколого-економічних переваг плану ефективності його впровадження і умов його ефективного впровадження.

У шостому розділі розроблено рекомендації щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття, основними з яких є:

- збереження та відновлення природних середовищ існування;
 - збереження видів через охорону природних популяцій;
-

- використання принципу адаптації на рівні екосистем;
- стале управління водними ресурсами та захист водних екосистем;
- використання сталих методів землекористування;
- регулярний моніторинг та оцінка впливу;
- зменшення викидів парникових газів;
- інтеграція питання збереження біорізноманіття в кліматичну політику;
- посилення міжнародної співпраці, обмін науковим досвідом;
- підвищення обізнаності та екологічна освіта.

Науково-дослідну роботу оцінено позитивно. Результати роботи свідчать про її необхідність і важливе прикладне значення.

Висновок.

Матеріали наданої на рецензію НДР матимуть певний внесок у розвиток екологічної політики України з питань протидії змінам клімату, створення умов для збереження біорізноманіття, зменшення вразливості біорізноманіття до змін клімату, покращення стану екосистем.

Розглянута робота добре структурована і виконана на високому науковому рівні.

Робота «Здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату» відповідає Технічному завданню і може бути рекомендована для розгляду на Вченій раді УКРНДІЕП.

Рецензент:

Директор НДІ біології
ХНУ ім. В.Н. Каразіна,
доктор біол. наук, проф.



А.І. Божков

Підпис засвідчую

**МІНІСТЕРСТВО ЗАХИСТУ ДОВКІЛЛЯ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ****НАУКОВО-ДОСЛІДНА УСТАНОВА
«УКРАЇНСЬКИЙ НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЕКОЛОГІЧНИХ ПРОБЛЕМ»
(УКРНДІЕП)****ВИТЯГ ІЗ ПРОТОКОЛУ**

10.12.2024 № 8
м. Харків

засідання Вченої ради в режимі on-line конференції

Склад Вченої ради науково-дослідної установи «Український науково-дослідний інститут екологічних проблем» затверджено директором установи Гриценком А. В. від 30.01.2019 р. у складі 25 осіб.

ПРИСУТНІ:

1. Голова Вченої ради – Гриценко Анатолій Володимирович – д-р геогр. наук, проф., директор
2. Заступник голови Вченої ради – Васенко Олександр Георгійович – канд. біол. наук, старш. наук. співроб., доц., заступник директора з наукової роботи, завідувач лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони
3. Заступник голови Вченої ради – Дмитрієва Олена Олексіївна – д-р екон. наук, старш. наук. співроб., заступник директора з наукової роботи та маркетингу наукових досліджень, завідувач лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля
4. Секретар Вченої ради – Савченко Наталя Володимирівна – вчений секретар
5. Аніщенко Людмила Яківна – д-р. техн. наук, доц., завідувач лабораторії оцінки впливу на довкілля, стратегічної екологічної оцінки та екологічної експертизи
6. Брук Володимир Вікторович – канд. техн. наук, завідувач лабораторії проблем формування та регулювання якості вод
7. Варламов Євгеній Миколайович – канд. техн. наук, старш. наук. співроб., завідувач сектору засобів і методів моніторингу навколишнього природного середовища лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля
8. Гутков Георгій Валентинович – завідувач сектору дослідження технологічних викидів забруднюючих речовин та еколого-енергетичного аудиту лабораторії охорони атмосферного повітря та систем управління відходами; голова первинної профспілкової організації
9. Зінченко Ірина Василівна – завідувач лабораторії міських і виробничих стічних

вод

10. Клімов Олександр Васильович – канд. геогр. наук, завідувач сектору досліджень територій особливої охорони лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони
11. Коваленко Григорій Дмитрович – д-р фіз.-мат. наук, проф., старший науковий співробітник лабораторії радіоекологічної безпеки та радіаційного моніторингу
12. Крайнюкова Алла Миколаївна – д-р біол. наук, проф., провідний науковий співробітник лабораторії еколого-токсикологічних досліджень антропогенного впливу на компоненти довкілля та нормування екологічно безпечного природокористування
13. Маркіна Надія Кузьмівна – завідувач лабораторії екологічної гідрогеології та оцінювання екологічного стану територій
14. Мельников Андрій Юрійович – канд. техн. наук, старший науковий співробітник лабораторії еколого-аналітичних досліджень
15. Палагута Оксана Анатоліївна – канд. техн. наук, старший науковий співробітник сектору засобів і методів моніторингу навколишнього природного середовища лабораторії екологічно безпечного природокористування, засобів і методів моніторингу довкілля; член Ради молодих вчених
16. Пісня Леонід Андрійович – канд. техн. наук, провідний науковий співробітник лабораторії оцінки впливу на довкілля, стратегічної екологічної оцінки та екологічної експертизи
17. Саввова Оксана Вікторівна – д-р. техн. наук, проф., старший науковий співробітник лабораторії радіоекологічної безпеки та радіаційного моніторингу
18. Свердлов Борис Соломонович – старший науковий співробітник лабораторії оцінки впливу на довкілля, стратегічної екологічної оцінки та екологічної експертизи
19. Уберман Володимир Ілліч – канд. техн. наук, провідний науковий співробітник лабораторії проблем формування та регулювання якості вод
20. Хабарова Ганна Володимирівна – канд. техн. наук, провідний науковий співробітник лабораторії радіоекологічної безпеки та радіаційного моніторингу, завідувач аспірантурою зі спеціальності 101 – Екологія, галузь знань 10 – Природничі науки
21. Цапко Наталія Сергіївна – канд. техн. наук, доц., завідувач лабораторії еколого-токсикологічних досліджень антропогенного впливу на компоненти довкілля та нормування екологічно безпечного природокористування, Гарант освітньо-наукової програми «Екологічна безпека» за спеціальністю 101 Екологія.
22. Шевченко Людмила Петрівна – завідувач сектору нормування екологічно безпечного природокористування лабораторії еколого-токсикологічних досліджень антропогенного впливу на компоненти довкілля та нормування екологічно безпечного природокористування
23. Юрченко Анатолій Іванович – завідувач лабораторії природоохоронних заходів в агропромисловому та паливно-енергетичному комплексах

ЗАПРОШЕНІ:

Черба О. В. – науковий співробітник лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони, УКРНДІЕП;
 Карлюк А. А. – науковий співробітник лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони, УКРНДІЕП;
 Гайдріх І. В. – науковий співробітник сектору досліджень територій особливої охорони лабораторії досліджень екологічної стійкості об'єктів довкілля та природних територій особливої охорони.

ПОРЯДОК ДЕННИЙ:

3. Про розгляд остаточного звіту про науково-дослідну роботу № 16 «Здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату» 2022-2024 рр.

Науковий керівник: Васенко Олександр Георгійович

Відповідальний виконавець: Черба Ольга Володимирівна

Доповідач: Васенко Олександр Георгійович

Рецензент внутрішній: Клімов Олександр Васильович

Рецензент зовнішній: Божков Анатолій Іванович, директор Науково-дослідного інституту біології Харківського національного університету ім. В.Н. Каразіна, д-р біол. наук, проф.

3. СЛУХАЛИ:

Васенко О. Г. – виступив з доповіддю про розгляд науково-дослідної роботи № 16 «Здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату» (остаточний звіт) на замовлення Міндовкілля України. У своїй доповіді він зазначив, що робота зумовлена глобальними змінами клімату та необхідністю протидії зростанню ризиків для біорізноманіття, дотриманням вимог Конвенції про біологічне різноманіття.

Актуальність роботи: визначається посиленням глобальної зміни клімату, що негативно впливає на стан біорізноманіття, та недостатньою інтеграцією кліматоохоронних аспектів в секторальні і регіональні політики. Відповідно до Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року потребують розв'язання такі крос-секторальні проблеми, як низький рівень запобігання кліматичним загрозам, точкове реагування щодо усунення наслідків і відшкодування збитків; відсутність системних секторальних та міжсекторальних досліджень з оцінки ризиків, уразливості та прогнозування зміни клімату на національному та регіональному рівні.

Мета роботи: здійснення оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до зміни клімату.

Підстави для виконання:

- Пункт 9 Операційного плану реалізації у 2022 – 2024 роках Стратегії екологічної безпеки та адаптації до змін клімату на період до 2030 року, затвердженого розпорядженням КМУ від 20 жовтня 2021 р. № 1363-р.;

- Конвенція про охорону біологічного різноманіття (Ріо-де-Жанейро, 1992 р.), ратифікована Законом України № 257/94-ВР від 29.11.94;

- Тематичний план УКРНДІЕП прикладних наукових досліджень і науково-технічних (експериментальних) розробок за бюджетною програмою КПКВК 2701040 «Наукова і науково-технічна діяльність у сфері захисту довкілля та природних ресурсів» на 2022 – 2024 роки.

Терміни виконання роботи: 2022 – 2024 роки.

Об'єкт дослідження: біорізноманіття, зміна клімату.

Основні завдання роботи:

- огляд сучасного стану біорізноманіття в Україні та світі;
- аналіз наявної інформації стосовно впливу зміни клімату на біорізноманіття;
- визначення основних ризиків зміни клімату для біорізноманіття;
- аналіз вітчизняного та закордонного досвіду щодо оцінки ризиків зміни клімату для біорізноманіття;
- визначення основних складових та порядку оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату;
- розробка плану виконання оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах;
- розробка рекомендацій щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття.

Підґрунтя для виконання роботи: НДР продовжує та доповнює результати досліджень, які проводились при виконанні робіт:

- Оцінка стану проблеми видів-вселенців в Україні та розроблення рекомендацій щодо законодавчих і організаційних засад врегулювання та створення системи контролю за інтродукцією і поширенням таких організмів на території України відповідно до вимог Конвенції про біологічне різноманіття;
- Наукове обґрунтування переліку водних екосистем, які забезпечують основні екосистемні послуги, та порядок оцінки вартісної цінності їх біорізноманіття, розроблення рекомендацій щодо відновлення і збереження цих екосистем.

Основні результати роботи: в межах III етапу робіт:

- узагальнено інформацію щодо сучасного стану біорізноманіття в Україні та світі, основних загроз для біологічного різноманіття, причин та наслідків впливу зміни клімату на біорізноманіття (прямих та опосередкованих), основних міжнародних угод з питань охорони, відновлення та збереження біорізноманіття, активної участі України в кліматичних ініціативах;
- узагальнено інформацію щодо основних ризиків зміни клімату та протидії ризикам вразливості біорізноманіття до зміни клімату;
- проаналізовано вітчизняний та закордонний досвід щодо оцінки ризиків зміни клімату для біорізноманіття, визначено основні підходи до оцінки ризиків і вразливості біорізноманіття до зміни клімату;
- визначено основні показники для оцінки стану біологічного різноманіття, в тому числі для оцінки стану гідробіоценозів; порядок оцінки ризиків та вразливості біорізноманіття до змін клімату;
- визначено цілі та методи оцінки кліматичних ризиків під час оцінювання впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту у ґрунтах і водних об'єктах;
- розроблено план проведення оцінки впливу органічних біорозкладаємих відходів на виникнення парникового ефекту та відповідних змін екологічної рівноваги у ґрунтах і водних об'єктах, визначено його еколого - економічні переваги та умови ефективного впровадження;
- розроблено рекомендації щодо зниження негативного впливу зміни клімату на біорізноманіття.

Висновки:

1. Виконана наукова робота повністю відповідає ТЗ.

